



Informe Final

Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: Caña de azúcar

Proyecto: Apoyo a la preparación de Estrategias de Desarrollo Bajo en Emisiones y Adaptado al Cambio Climático. Ref.: Fortalecimiento de Capacidades de los encargados de la formulación de políticas para hacer frente al Cambio Climático en Iberoamérica 00062378/SUB-2011-0010.

Gerardo Jiménez Porras, Ph.D.
Director General CINPE

Equipo Técnico

Rafael Díaz Porras, Ph.D., Coordinador
Fiorella Salas Pinel, MSc.
Carlos Francisco Carranza Rojas, MSc.
Marjorie Hartley Ballester, MSc.
Antonio Delgado Ballester, MSc.
Daniel Núñez Avendaño, Bach.

15 de octubre de 2012

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento constituye el informe final del estudio análisis del sub sector caña de azúcar, desarrollado según el contrato suscrito entre el PNUD y la UNA, en el marco del proyecto **Apoyo a la preparación de Estrategias de Desarrollo Bajo en Emisiones y Adaptado al Cambio Climático**”, cuyo objetivo es *identificar los proyectos u opciones de mitigación y en el sector agropecuario.*

El estudio analiza las emisiones de óxido nitroso en la producción de caña de azúcar, que son generadas como resultado del proceso de fertilización nitrogenada. Se focaliza en la opción de mitigación para dichas emisiones en la fase agrícola, a través del mejoramiento del ciclo de carbono: componentes relacionados con fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno y acciones complementarias.

Opciones que son analizadas tomando en consideración distintos escenarios que van desde la situación base, pasando por ajustes moderados y alcanzando un óptimo en términos de la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Asimismo se explora para la fase industrial, aunque con menos profundidad debido a problemas de acceso a la información correspondiente, acciones mitigación y compensación intra agroindustria, así como mediante eficiencia energética.

El Inventario Nacional de Emisión de Gases con Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica (MINAET, 2009) ofrece cifras agregadas para las emisiones de GEI asociadas a la caña de azúcar. Con el propósito de generar aportes que permitan avanzar hacia la construcción de las opciones de mitigación, el presente estudio toma como insumos: datos oficiales de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), así como criterio de expertos para aplicar diversos parámetros que permiten ajustar los datos de emisiones de óxido nitroso. De tal forma que, dichas cifras sean más cercanas a la dinámica que se genera en las plantaciones de caña de azúcar.

Para los efectos del estudio, la variable de importancia es el área sembrada de caña de azúcar, lo que permite aproximar las emisiones óxido nitroso (GEI) asociadas al proceso de fertilización con nitrógeno. Utilizando una función trigonométrica senoidal, que fue validada en el Taller de Expertos, se consigue una proyección del área sembrada estimada durante el período comprendido entre la zafra 2012-2013 y la zafra 2020-2021. Dicha proyección se realiza utilizando los datos correspondientes a 14 zafras anteriores.

La opción de mitigación detectada se ubica en la fase agrícola y consiste en el mejoramiento del ciclo de carbono. A este respecto, la fertilización constituye un tema fundamental para definir las opciones de mitigación en la fase agrícola de la caña de azúcar.

De acuerdo con el criterio experto y la proyección del área sembrada, se establece en el presente estudio una línea de análisis para la formulación de acciones de mitigación para la fase agrícola de producción: la introducción de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno en las plantaciones comerciales de caña de azúcar. Con el objetivo de mitigar las emisiones de óxido nitroso ligadas a la caña de azúcar, se definen tres opciones de reducción en la aplicación de nitrógeno en las plantaciones cañeras costarricenses.

La primera opción consiste en una reducción del 5% en la cantidad total de nitrógeno aplicado, que no tendría en principio implicaciones importantes en cuanto a reducción de los rendimientos del cultivo, por lo que no habría impacto negativo sobre la productividad agroindustrial de la caña de azúcar. Una segunda opción se relaciona con una disminución del 15% en la aplicación de nitrógeno, que se asocia al uso de nuevas fuentes nitrogenadas, que reportarían una mejor eficiencia técnica en cuanto a su liberación y consecuente absorción por parte de la planta de caña. Mientras la tercera opción es una reducción del 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado, que se conseguiría con la combinación, integración y articulación de las dos opciones anteriores.

Considerando la gradualidad en la implementación del mejoramiento del ciclo de carbono, la opción del 25% reporta la mayor cantidad de emisiones evitadas de CO₂e. Este comportamiento podría explicarse de la siguiente forma. Una reducción del 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado implicaría que, de manera gradual los productores nacionales de caña de azúcar estarían aplicando fuentes idóneas de nitrógeno al tiempo, que se combinaría esta sustitución del nitrógeno tradicional con la implementación de buenas prácticas en las fincas (i.e. disminución de las pérdidas del fertilizante nitrogenado por lixiviación) de manera que logren optimizar el potencial de los productos y el nutrimento.

En términos del VAN, el valor presente de la fertilización de liberación controlada de nitrógeno alcanza US\$884.029.129 para el escenario del 5%, US\$883.596.278 para el escenario del 15% y US\$883.260.336 para el escenario del 5%.

Por otra parte, las emisiones evitadas de CO₂e por mejoramiento del ciclo del CO₂ tienen un costo, que se ha denominado costo del abatimiento. El total de emisiones evitadas alcanzan 45 Gg. en la opción del 5%, 136 Gg. para el 15% y 226 Gg. para el 25%. En términos monetarios, el costo de abatimiento corresponde a US\$6.213/Gg. en la opción del 5%, US\$5.260/Gg. en la opción del 15% y US\$4.642/Gg. en la opción del 25%.

Tomando en cuenta la fase agroindustrial, el análisis es abordado de forma indirecta mediante las acciones de mitigación en la fase de ingenio. Esto por cuanto no se tienen datos públicos en el sector sobre los cuales realizar un análisis más profundo de las opciones. Adicionalmente, el estudio plantea la opción de mitigación más compensación intra agroindustria, que implica considerar las fincas de forma más integral, es decir con servicios ambientales adicionales a los generados por la plantación de caña. A este

respecto, los árboles plantados como cercas vivas permiten mejorar el ciclo del carbono, porque el CO₂ se está fijando tanto en la planta de caña como en árboles en la finca, es decir: el servicio ambiental está siendo generado.

En conclusión, el sector de la caña de azúcar costarricense tiene el importante potencial de contribuir a la mitigación de las emisiones de óxido nitroso que se genera en las plantaciones. Ello crea condiciones para el establecimiento de un NAMA Caña de Azúcar, entendido como el conjunto de acciones voluntarias de mitigación de GEI del sector productivo, y que son apropiadas para el contexto costarricense.

Los escenarios de mitigación analizados, en relación con la reducción de fertilizantes nitrogenados muestran potencial de evitar emisiones en porcentajes que van desde el 5% al 25%. Asimismo estas opciones tienen viabilidad financiera, en la medida de que el VAN es positivo. Sin embargo, la implementación de estas medidas requiere de un componente importante de creación de condiciones para que el productor tome la decisión en el sentido deseado.

Los productores de caña de azúcar tendrán que enfrentar barreras, que resultan ser de tipo financiero, social/institucional y tecnológico. En términos financieros, los productores de caña podrían enfrentarse tanto a la falta de activos y ahorros, como al poco acceso al crédito: lo que les impediría la inversión con fondos propios de los cambios propuestos para sus fincas, aunque la modificación propuesta en el uso de fertilizantes resulte económicamente favorable.

Adicionalmente, las barreras de tipo social/institucional se refieren tanto a la falta de conocimiento técnico enfocado a la implementación de medidas de mitigación y compensación de GEI en las plantaciones; la incertidumbre ligada al reconocimiento por parte de los mercados (vía incremento de precios o acceso a comercialización) al azúcar que mitiga y compensa sus emisiones GEI. Por su parte, las barreras tecnológicas se asocian a la falta de datos de línea de base, que a su vez genera impactos negativos sobre los cálculos de emisiones.

Los resultados del presente estudio, que logran profundizar más en la fase agrícola de la actividad cañera permiten plantear que la implementación de acciones de mitigación asociadas al NAMA en la actividad cañera debe tener un énfasis en la creación de condiciones para el cambio. El análisis de escenarios de mitigación mostró que las acciones requeridas para el cambio van por acompañamiento a los productores para la racionalización del uso de fertilizantes (escenario 1) y la provisión de información técnica validada para el uso de fertilizantes de liberación y uso controlado del nitrógeno (escenarios 2 y 3). El costo del cambio en términos financieros no es de gran impacto sin considerar la posibilidad de mejora en la productividad.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO.....	i
1. Introducción	1
2. Emisiones de la actividad de caña de azúcar derivadas del inventario GEI	2
3. Emisiones ajustadas a la caña de azúcar	5
3.1 Emisiones de óxido nitroso asociadas a fertilización nitrogenada	5
3.2 Dinámica de la caña de azúcar	6
3.3 Proyección del área sembrada de caña de azúcar	9
4. Opciones de mitigación	11
4.1 Opción de mitigación en la fase agrícola: mejoramiento del ciclo de carbono	11
4.1.1 Componente: aplicación de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno.....	14
4.1.2 Aproximación al Abatimiento: fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno	21
4.1.3 Componentes complementarios.....	30
4.2 Opción de mitigación en la fase agroindustrial.....	31
4.2.1 Mitigación + compensación intra agroindustria	31
4.2.2 Eficiencia energética en los ingenios azucareros	33
5. Conclusiones.....	35
6. Recomendaciones	36
Bibliografía	45
ANEXOS	50

1. Introducción

El presente documento constituye el informe final del estudio análisis del sub sector caña de azúcar, desarrollado según el contrato suscrito entre el PNUD y la UNA, en el marco del proyecto **Apoyo a la preparación de Estrategias de Desarrollo Bajo en Emisiones y Adaptado al Cambio Climático**, cuyo objetivo es *identificar los proyectos u opciones de mitigación y en el sector agropecuario*.

El estudio analiza las emisiones de óxido nitroso en la producción de caña de azúcar, que son generadas en los cañaverales como resultado del proceso de fertilización nitrogenada¹. Se focaliza en la opción de mitigación para dichas emisiones en la fase agrícola, a través del mejoramiento del ciclo de carbono: componentes relacionados con fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno y acciones complementarias (ver figura 1). Opciones que son analizadas tomando en consideración distintos escenarios que van desde la situación base, pasando por ajustes moderados y alcanzando un óptimo en términos de la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Estas opciones de mitigación fueron además validadas en un Taller de Expertos (ver anexo 2). Asimismo se explora para la fase industrial, aunque con menos profundidad debido a problemas de acceso a la información correspondiente, acciones mitigación y compensación intra agroindustria, así como mediante eficiencia energética, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 1
Caña de azúcar. Opciones mitigación de emisiones GEI

Acciones	
Fase agrícola	Fase agroindustrial
Mitigación	Mitigación + compensación intra agroindustria
Mejoramiento del ciclo de carbono: fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno + componentes complementarios	Eficiencia energética en ingenios azucareros

Fuente: Elaboración propia.

¹ Este documento fue posible gracias al criterio experto del Ing. Agr. Marco Chaves Solera, MSc. Gerente del Departamento de Investigación y Extensión Caña de Azúcar (DIECA), de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).

El documento se organiza de la siguiente forma. A continuación se presenta la estimación de emisiones de óxido nitroso asociadas a la fertilización en caña de azúcar. Luego se plantean las opciones para mitigar dichas emisiones tanto en la fase agrícola como agroindustrial. Seguimiento de las secciones de conclusiones, recomendaciones y anexos.

2. Emisiones de la actividad de caña de azúcar derivadas del inventario GEI

El Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica (MINAET, 2009) estima las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la caña de azúcar costarricense tomando como referencia las estadísticas oficiales del Ministerio de Agricultura y Ganadería y LAICA.

De acuerdo con este Inventario, las emisiones de la caña de azúcar se asocian a dos fuentes responsables de las emisiones de GEI: (1) suelos agrícolas y (2) quema en el campo de residuos agrícolas. Sin embargo, las consultas a expertos (Chaves, 2012 y Taller de Expertos, ver anexo 2) indican que la segunda fuente no aplica para los cañaverales costarricenses, aún cuando el Inventario lo señale. Para ampliar detalles sobre la quema asociada a la producción cañera (ver recuadro 1).

Recuadro 1 **Quema asociada a caña de azúcar**

La quema asociada a la caña de azúcar constituye un tema muy visible cuando se consideran variables ambientales. Sin embargo, para efectos del cambio climático esta quema no representa un problema por dos razones fundamentales. Primero, la quema de residuos orgánicos (como el bagazo biomásico) o los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos obtenidos por conversión de aquellos, libera CO₂ a la atmósfera. La cantidad de CO₂ generado no es mayor que la cantidad que ha capturado la misma biomasa durante su crecimiento. Resulta un balance neutro de CO₂, es decir no se agrega CO₂ a la atmósfera. Si los residuos orgánicos pueden sustituir combustibles fósiles, se presenta entonces una reducción de las emisiones de CO₂. Segundo, la caña de azúcar posee un balance positivo aún cuando se queme un día durante la zafra. La quema de una hectárea de caña genera: entre 12 y 20 toneladas de CO₂, 0,6 toneladas de CO y absorbe 1,2 toneladas de O₂ (Combustión). Mientras su balance neto anual libera 72,8 t O₂, remueve 100 toneladas de CO₂ y libera 0,6 toneladas de CO.

Fuente: Steiner, (2006), Chaves, (2007), Castellanos (comm. pers. 2012) y Taller de Expertos (ver anexo 2).

Tomando en cuenta los criterios técnicos expuestos, el estudio excluye otras emisiones de menor volumen como metano y monóxido de carbono, asociadas con la quema de residuos en campo (MINAET, 2009). Mientras, el análisis se enfoca en reducir las emisiones de óxido nitroso a partir de la existencia de opciones en la fase agrícola para mejorar. En un primer momento, dichas emisiones se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1.
Emisión de óxido nitroso para caña de azúcar en Costa Rica. Año 2005.

Cultivo	Área sembrada (ha.)	Factor de emisión kg/ha/año	Emisión de N₂O (Gg)*
Caña de azúcar	48.000	5,66	0,272
Total sector agropecuario			8,05

Fuente: Adaptado de MINAET (2009).

* 1 Gigagramo = 1.000 toneladas.

Para el año 2005, el Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica (MINAET, 2009) señala que el cultivo de la caña de azúcar emitió aproximadamente el 3,34% del óxido nitroso generado por el sector agropecuario. Por lo tanto, es en este aspecto que se concentra el análisis de la opción de mitigación para esta actividad productiva asociado a la fertilización con nitrogenados.

Recuadro 2
Caña de Azúcar y CO₂

La caña de azúcar es una planta tipo C₄, que posee características particulares que permiten la fijación de una importante cantidad de CO₂. Primero, la captación del CO₂ ocurre en las células del mesófilo. Segundo, la caña es muy eficiente fijando CO₂. Tercero, posee una reducida fotorespiración lo cual reduce la pérdida del CO₂ fijado en la fotosíntesis. Lo que en su conjunto permite tener una gran cantidad de CO₂ durante el ciclo productivo, tanto en la biomasa aérea, la raíz, como por supuesto en la sacarosa. Dentro de la plantación cañera, el CO₂ almacenado se ubica en zonas protegidas en crecimiento activo, crecimiento secundario, y zonas de reforestación. Dependiendo del manejo del cultivo, la caña podría estar capturando CO₂ en el suelo. Adicionalmente, la caña creciendo en condiciones agroecológicas satisfactorias y con adecuada nutrición, tiene la capacidad de producir grandes cantidades de azúcar por unidad de área. Condiciones que a su vez generan un incremento en la cantidad de CO₂ fijado dentro del proceso productivo.

Fuente: Montenegro, et al. (2009).

Sin embargo, es importante notar, tal como se describe en el recuadro 2 que la caña de azúcar posee características y dotación estructural, anatómica y metabólica comparativamente muy eficientes respecto a otras plantas para capturar y fijar CO₂, servicio ambiental que implica un importante potencial para mitigar el cambio climático².

Como resultado de un estudio conjunto entre expertos del IMN y LAICA, Montenegro, et al. (2011, pp. 9) apuntan que: “la actividad cañera en cada hectárea sembrada y cada año retira de la atmósfera aproximadamente **379 kg de CO₂**, y si multiplicamos este valor por las hectáreas cosechadas en la última Zafra (2010-2011) y que totalizaron **54.300 has**, obtenemos que el sector cañero removió en el periodo 2010/2011 un total de **19.815 tons de CO₂** atmosférico”. Lo anterior implica que este cultivo agrícola reporta un importante potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático³.

Dadas las características de la caña de azúcar como planta C₄, el estudio se concentra en estimar de manera más ajustada las emisiones de óxido nitroso en la fase productiva. En este sentido, las secciones siguientes mostrarán un análisis que se basa tanto en datos oficiales; como en criterio experto proporcionados directamente por el sector cañero costarricense.

² De igual forma, el Inventario Nacional de Emisión de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica (MINAET (2009, pp. 34) indica: “En la quema de residuos no se considera la emisión de CO₂ pues se supone que este es reabsorbido en el siguiente período de cultivo”.

³ “Existe evidencia internacional que muestra que los suelos sembrados con caña donde se practica regularmente la quema para cosechar, presentan menores contenidos de Carbono con respecto a suelos de cañaverales donde no se quema. En este sentido, CANELLAS et al. (2003) reportó que después de varios años sin quemar, la concentración de Carbono del suelo fue 9,21 g kg⁻¹ suelo mayor que donde se quemó la plantación. De igual manera, RAZAFIMBIELO et al. (2006) determinó que después de seis años de tratamiento sin quemar, el contenido de Carbono del suelo fue 15% mayor comparado al tratamiento con quema. Esto demuestra claramente que la quema es un factor de producción agrícola que limita en grado importante el incremento del Carbono del suelo; sin embargo, no se conoce la magnitud de la fijación de Carbono generada por el cultivo de la caña de azúcar a nivel nacional. Es un tema aún sin investigación pese a ser ventajoso para la agroindustria” Montenegro, et al. (2011, pp. 3).

3. Emisiones ajustadas a la caña de azúcar

3.1 Emisiones de óxido nitroso asociadas a fertilización nitrogenada

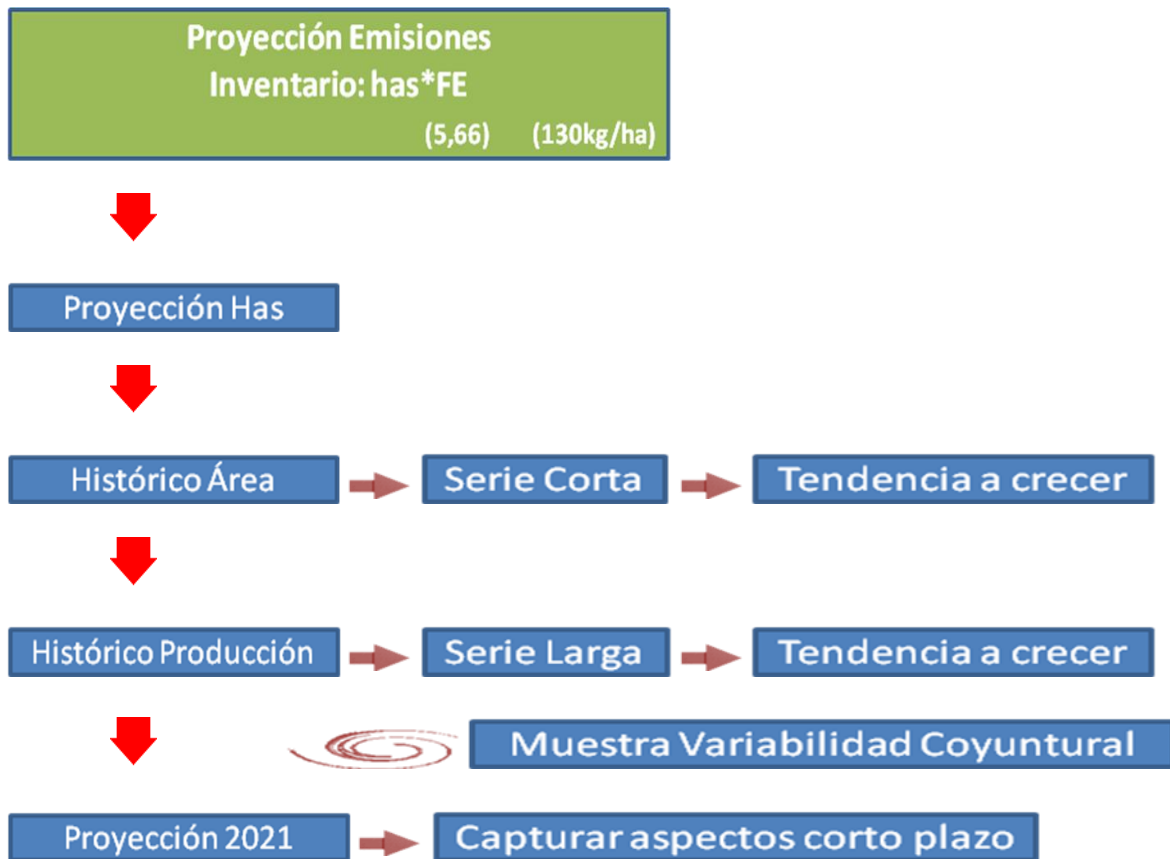
Tal como se mencionó en la sección anterior, el Inventario Nacional de Emisión de Gases con Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica (MINAET, 2009) ofrece cifras agregadas para las emisiones de GEI asociadas a la caña de azúcar. Para efectos de construir una línea base, es necesario contar con cifras adicionales para ajustar los cálculos, y proponer las medidas de mitigación y los escenarios diseñados que contribuyan a avanzar hacia la meta de carbono neutralidad de Costa Rica para el 2021.

Con el propósito de generar aportes que permitan avanzar hacia la construcción de las opciones de mitigación, el presente estudio toma como insumos: datos oficiales de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), así como criterio de expertos para aplicar diversos parámetros que permiten ajustar los datos de emisiones de óxido nitroso. De tal forma que, dichas cifras sean más cercanas a la dinámica que se genera en las plantaciones de caña de azúcar.

La figura 2 muestra la lógica de cálculo empleada en las secciones siguientes. El punto de partida de las proyecciones es el factor de emisión para óxido nitroso en caña de azúcar (5,66) señalado por MINAET (2009). Con el propósito de ajustar las estimaciones se proyectan las hectáreas plantadas mediante el análisis de datos históricos (suministrados por LAICA) y cuyos resultados se muestran en la sección 3.2.

El análisis de una serie corta de zafras permite identificar la tendencia a crecer de las hectáreas plantadas de caña de azúcar (ver gráfico 1). Luego, la proyección de los datos históricos de producción de azúcar utiliza una serie larga de zafras que también muestra tanto tendencia a crecer; como la variabilidad coyuntural (ver gráfico 2). La sección 3.3 muestra la proyección de área sembrada hasta el 2021 y permite capturar aspectos de corto plazo mediante el uso de una función trigonométrica senoidal (ver recuadro 3).

Figura 2
Caña de azúcar. Lógica de Cálculo.



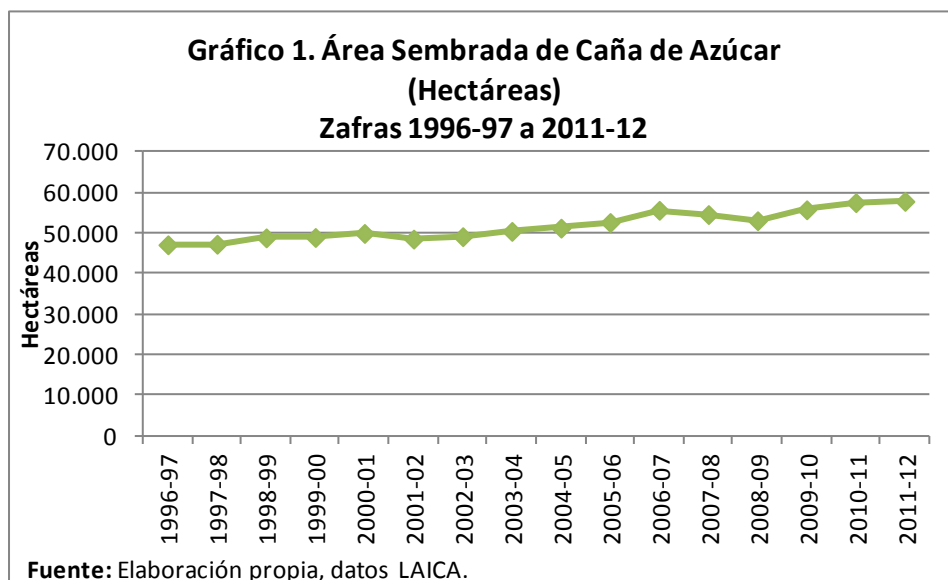
Fuente: Elaboración propia.

3.2 Dinámica de la caña de azúcar

Para el año 2010, la actividad azucarera reportó un valor agregado de 30.946 millones de colones que representaron incremento del 17,9% con respecto al año anterior (SEPSA-MAG, 2011). Mientras, el valor de sus exportaciones ascendió a US\$81 millones (en el 2010) luego de crecer un 192,3% con respecto al 2009. Cifra pagada por 174.530 toneladas métricas, que mostraron un aumento del 137,8% (variación interanual 2009-2010).

En Costa Rica, el subsector de caña de azúcar presenta un comportamiento muy dinámico, que debe ser considerado tanto en términos de emisiones de óxido nitroso como en opciones de mitigación de las mismas. El primer acercamiento a la estimación se refiere al área sembrada, que utilizando datos históricos de zafra (suministrados por LAICA) permite determinar una tendencia al incremento en los últimos 10 años (ver Gráfico 1).

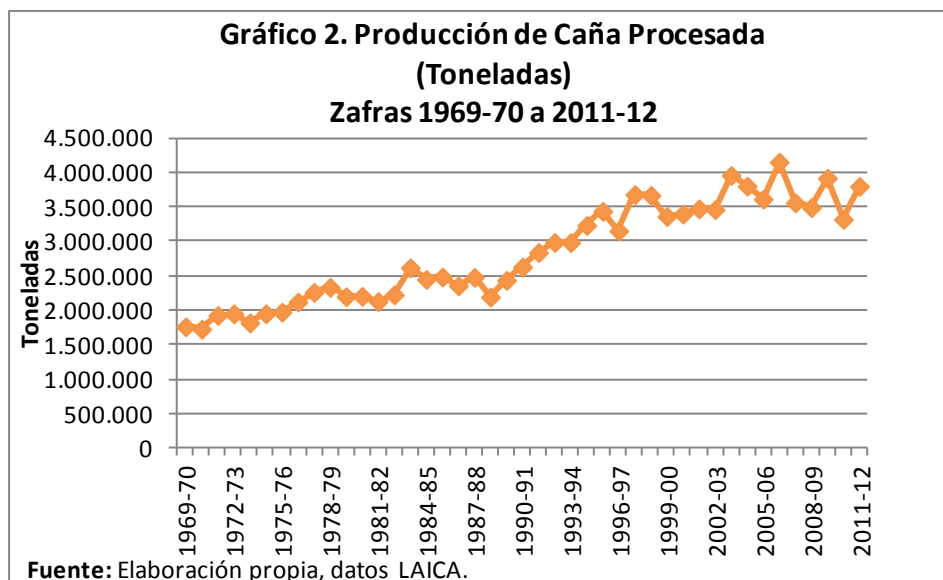
Este comportamiento se asocia con la variación entre regiones productoras de caña de azúcar⁴ (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2). En términos relativos, Guanacaste ha sido la región de mayor crecimiento, mientras que Valle Central ha disminuido sustancialmente⁵ lo que ha provocado una tendencia creciente, que se refleja, como veremos adelante, en una variabilidad del nivel de caña procesada un poco mayor en los últimos años. Otra tendencia asociada es la disminución de la cantidad de ingenios, ya que para mayo del 2012 existen 13 ingenios: mientras en años anteriores llegaron a funcionar hasta 30 (ver lista en anexo 3).



La cantidad de caña procesada en los ingenios muestra también un comportamiento muy variable. Razón por la cual, el siguiente paso del análisis se refiere a esta variable (ver Gráfico 2). Los datos históricos de producción (suministrados por LAICA) muestran una tendencia creciente, que responde a varios factores. Tales como el uso del riego, que aún cuando es necesario en zonas secas, no está presente en todas las plantaciones cañeras, la necesidad de inversión en tecnología en el campo (i.e. nuevas variedades), y disponer de plantaciones basadas en semilla obtenida en semilleros.

⁴ Durante la zafra 2010-2011, las 6 regiones de caña en Costa Rica corresponden a: Guanacaste, Valle Central, Zona Norte, Zona Sur, Zona Atlántica y Pacífico Central (Bermúdez, et al, 2011).

⁵ Guanacaste ha reportado un crecimiento natural, resultado del cambio de uso de la tierra debido a la desaparición del cultivo de granos básicos. Por el contrario, la presión urbanística en el Valle Central ha provocado un incremento importante en el costo de oportunidad de las tierras y un consecuente descenso en la actividad cañera, que como cultivo extensivo requiere de terrenos consolidados de al menos 100 ha. ubicadas en la misma finca.



Otros componentes asociados a la variabilidad en producción de azúcar se refieren a: un manejo adecuado que se le brinde a las plantas, las condiciones de mejoramiento de suelo (preparación, acondicionamiento, nutrición adecuada, control de malezas), que impidan los impactos negativos causados por problemas asociados a plagas y enfermedades -como las que se han presentado en los últimos 3 años con ratas cañeras (*Sigmodon hirsutum*). Así como, problemas de inundación que se reportan en las zonas bajas. Mismos que provocan pérdidas importantes en cientos de hectáreas sembradas de caña de azúcar.

Dentro de esta variabilidad en la caña procesada, la crisis financiera mundial del 2008 provocó una coyuntura de transición para la industria de la caña de azúcar costarricense, en la cual los productores trataron de reducir costos de producción, y evitar el deterioro de la relación costo-beneficio de la actividad provocado por la crisis. Ello se refleja tanto en una reducción de la fertilización aplicada al mínimo, como en una disminución de la inversión asociada al manejo de las plantaciones, que implicó disminución en los niveles de renovación de plantaciones, y en consecuencia un envejecimiento de los cañales.

Estas prácticas se han venido rectificando en los años posteriores a dicha crisis, lo que aunado a la existencia de un precio aceptable del azúcar han permitido un mejor manejo de los costos de producción en las plantaciones de caña. Situación que a su vez ha incrementado la inversión en tecnología al mejorar los ingresos de los productores a medida que han superado la crisis del 2008. Por lo tanto, es de esperar que en los próximos años se

presente una mayor producción de caña de azúcar, que no estaría necesariamente ligada a un incremento del área sembrada⁶.

3.3 Proyección del área sembrada de caña de azúcar

Para los efectos del presente estudio, la variable de importancia es el área sembrada de caña de azúcar, lo que permitirá aproximar las emisiones óxido nitroso (GEI) asociadas al proceso de fertilización con nitrógeno.

Utilizando una función trigonométrica senoidal (ver recuadro 3) se consigue una proyección del área sembrada estimada. Los valores de la zafra hasta 2010-2011 son datos oficiales del área sembrada de caña de azúcar en Costa Rica. Estas cifras constituyen un estimado que se construye con el aporte de los técnicos de DIECA que reportan una estimación de cuánto es el área sembrada en cada una de las 6 regiones cañeras, lo que a su vez se agrega para obtener la cifra nacional⁷. Con respecto a la zafra 2011-2012, el dato ha sido proyectado ya que dicha zafra no ha terminado al momento de escribir el presente informe.

Recuadro 3
Función Trigonométrica Senoidal
 $Y = a * \text{seno}(bx+c) + d$
 $Y = 861,89 * \text{seno}(0,87x + 2,95) + 49589,89$

La función trigonométrica senoidal utilizada para proyectar diversas variables analizadas en el presente estudio permite explicar el comportamiento de cada variable. Se determinó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.99, lo que significa un excelente ajuste. Esta función incluye el coeficiente d, que aproxima el nivel mínimo de producción en el período de análisis. La función reproduce la variación en la producción en el tiempo, la cual alcanza un rango de amplitud determinado por el parámetro a. Las oscilaciones están determinadas por el resto de los coeficientes de la función están asociados a cambios de la producción ocasionados por factores más coyunturales como los climáticos (como temperatura y/o precipitación). El cálculo no se hace directamente con funciones sino más bien por iteraciones.

Fuente: Elaboración propia.

⁶ En años recientes, LAICA ha venido promoviendo y está auspiciando un crecimiento asociado a dos variables. Primera, el rendimiento en producción de caña por hectárea y segunda, la concentración de azúcar por tonelada. Ambas permitirían alcanzar un mayor crecimiento en la producción de azúcar sin aumentar el área sembrada.

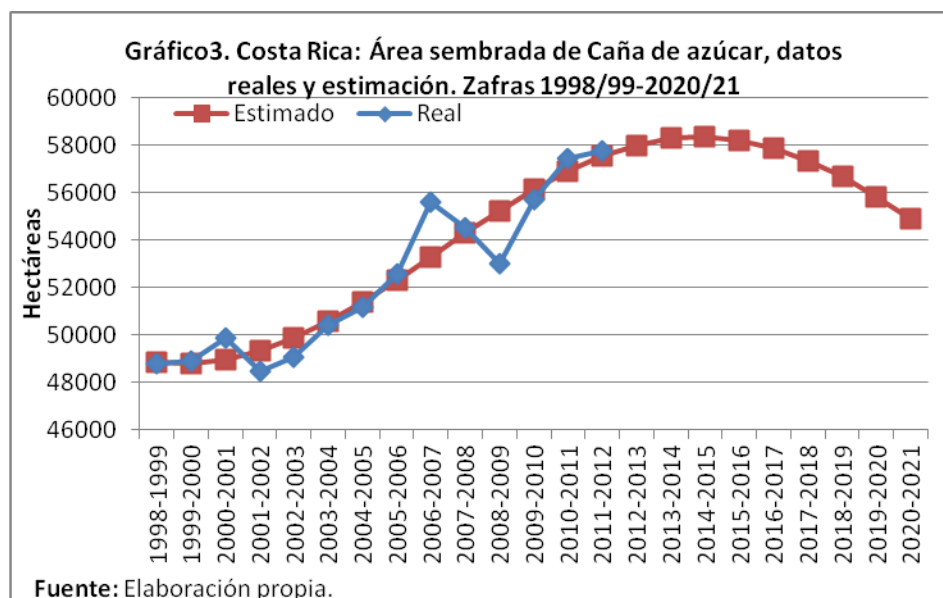
⁷ Los datos de producción son exactos porque surgen de las cifras de procesamiento de los ingenios. En tanto, la cifra de área sembrada es estimada y puede presentar algunas variaciones entre las regiones cañeras. Por ejemplo, las regiones con predominio de ingenios muestran datos más ajustados porque dichas industrias mantiene registros muy estrictos y actualizados.

La forma funcional trigonométrica senoidal al presentar el mejor ajuste también refleja las variaciones en la producción, lo cual contó con la validación en el Taller de Expertos. Su ventaja respecto a las formas lineal y cuadrática que fueron diseñadas también por el estudio (Taller de Expertos, ver anexo 2) radican en que estas proyectan crecimiento sin considerar los límites de expansión de la actividad. La función trigonométrica senoidal permite proyectar el área sembrada durante el período comprendido entre la zafra 2012-2013 y la zafra 2020-2021 (Chaves, comm. pers. 2012, validado en el Taller de Expertos, ver anexo 1). Dicha proyección se realiza utilizando los datos correspondientes a 14 zafras anteriores⁸. Tal como lo muestra el Gráfico 3, el área sembrada mostraría una tendencia creciente hasta alcanzar un máximo de 58.362 ha. en la zafra 2014-2015. Luego, el área sembrada tendería a descender hasta la última zafra analizada 2020-2021 que reporta 54.938 ha.

Este comportamiento pareciera apropiado al criterio experto pues el área sembrada de caña de azúcar se va a mantener posiblemente en áreas menores a las 60.000 ha. (Chaves, comm. pers. 2012, validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2)⁹. Esto lo determinaría básicamente el costo de tierra, competencia, presión urbanística, que refuerza aún más la dificultad que radica en conseguir áreas consolidadas y no fracciones de áreas pequeñas para establecer nuevas plantaciones cañeras, pues la caña de azúcar es un cultivo extensivo, que requiere un área conjunta que permita al productor alcanzar tanto manejo como costos asociados a niveles de rentabilidad financiera.

⁸ Los datos de caña de azúcar se registran en zafras bianuales debido a las características propias de su siembra y cosecha, que se inician a mediados de un año y se extienden hasta el siguiente (sumando un ciclo productivo de 12 meses que se ubica en dos años calendario).

⁹ Es importante indicar que este “techo” se refiere exclusivamente a las áreas destinadas a fabricación de azúcar. Lo que excluye, la caña sembrada con el objetivo de producir dulce, que se estima entre 4 y 6 mil ha. o el uso pecuario.



El gráfico anterior considera que la meta es lograr un crecimiento en producción enfrentando el “techo” de las 60.000 ha sembradas. Este es el gran reto del sector azucarero costarricense, ya que se espera que la actividad cañera no crezca en términos de área sembrada debido a la presión que va a existir sobre las áreas agrícolas. Misma que va a ser paulatinamente más fuerte por razones turísticas, urbanísticas, y dificultades de para conseguir terrenos idóneos¹⁰.

4. Opciones de mitigación

Tal como se mostró en la figura 1, la fase agrícola en caña de azúcar ofrece el potencial de mitigación de sus emisiones de óxido nitroso a través del mejoramiento del ciclo de carbono. En tanto, la fase agroindustrial del azúcar tiene oportunidades tanto en mitigación-compensación intra agroindustria, como en términos de eficiencia energética. Las secciones siguientes desarrollan estas opciones.

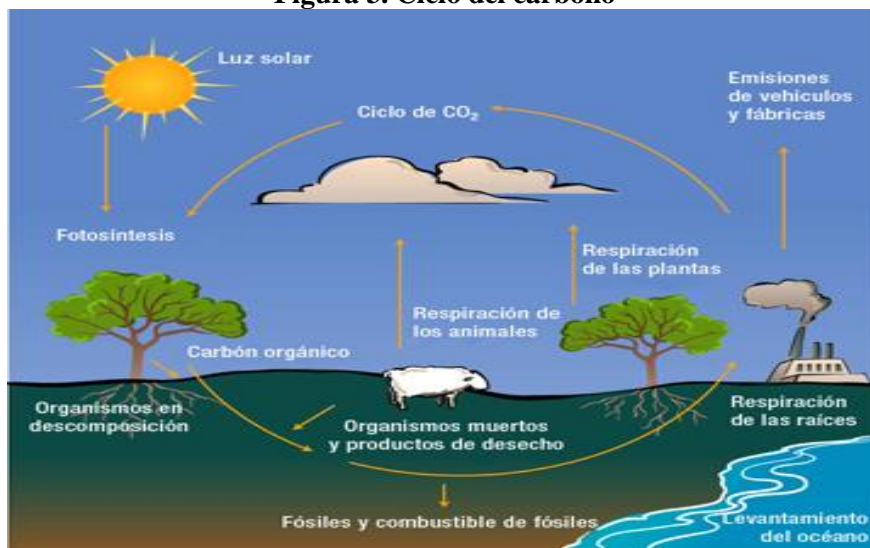
4.1 Opción de mitigación en la fase agrícola: mejoramiento del ciclo de carbono

La mitigación de las emisiones de óxido nitroso implica considerar aquellas acciones que vayan en favor del ciclo del carbono –del cual el nitrógeno es parte- (validado en el Taller

¹⁰ La agricultura viene siendo presionada hacia zonas de menor aptitud, pero que reportan menos conflictos ambientales, urbanísticos, y eso no necesariamente contribuye al mejor crecimiento vertical; y por tanto el área sembrada difícilmente va a crecer más.

de Expertos, ver anexo 2). Cualquier medida que vaya a favor de acumular materia orgánica en el suelo y favorecer mineralización va a mejorar la mitigación, reduciendo la necesidad de aplicación de fertilizantes (ver figura 3). A este respecto, la fertilización constituye un tema fundamental para definir las opciones de mitigación en la fase agrícola de la caña de azúcar.

Figura 3. Ciclo del carbono



Fuente: (Sin autor, ni título, ni fecha). [Imagen sin título de descripción del trabajo]. Recuperado de <http://www.google.co.cr/>[Imagen de ciclo de carbono].

Dado que el óxido nitroso es el principal GEI asociado con el cultivo de caña de azúcar (MINAET, 2009), las medidas de mitigación de dichas emisiones remiten directamente a la fertilización nitrogenada. En Costa Rica, la aplicación de fertilizantes presenta una amplitud importante. Las variaciones se presentan tanto por región como por estructura productiva –en ocasiones, los ingenios invierten más recursos en fertilización que los productores: debido a su mayor capacidad financiera y a su conocimiento de las necesidades nutricionales del cultivo- (ver recuadro 4).

Para el caso de una plantación comercial, luego de sembrar una planta de caña lo usual es obtener 5 cosechas¹¹. Cantidad que desde el punto de vista financiero es la base, luego del cual un buen manejo podría permitirle al productor extraer hasta 10 cosechas consecutivas. El éxito del manejo radica en que el productor pueda alargar la vida comercial de la planta,

¹¹ La caña planta se define como la primera vez que se siembra y cosecha en el campo. El segundo corte que se le hace a una planta de caña se conoce como soca. La planta de caña es perenne por lo que retoña por naturaleza y va a seguir creciendo. Sin embargo, la caña es calificada como semi-perenne para efectos comerciales, ya que dicha planta crece hasta alcanzar un nivel de rendimiento donde se torna anti-económica; y es en este punto donde se realiza la renovación de las plantaciones. El comportamiento de la planta en términos de su crecimiento es variable; y depende de múltiples factores como variedad, tipo de manejo, y condiciones de entorno (temperatura, precipitación, tipo de suelo, etc.).

que a su vez implica una ganancia en términos de la inversión realizada. Por cuanto, un corte de manera muy prematura implicaría una fuerte pérdida dado los altos costos ligados al establecimiento del cultivo (Chaves, comm. pers. 2012) ¹².

Recuadro 4
La fertilización nitrogenada en caña de azúcar

La principal función del nitrógeno es desarrollar materia verde o sea que a mayor cantidad de nitrógeno aplicado se esperaría mayor producción biomásica de caña de azúcar. Algunos productos reportan un efecto directo y visible, en tanto que otros no lo reportan como es el caso del potasio que no tiene participación en ningún compuesto de la planta, pero sí en su acción enzimática promotora. Sin embargo la aplicación de potasio sí reporta un impacto sobre la producción porque constituye la llave para que actúen otros elementos que son los que realizan funciones importantes. Este por ser un transportador muy bueno.

Las fuentes de nitrógeno son distintas. El nitrato de amonio es la más utilizada en Costa Rica. Este se compone del 33,5% de fertilizante nitrogenado, donde el 16,75% corresponde a nitratos mientras la mitad restante es amonio. Los nitratos se absorben más rápido porque es una fuente con una entrada directa por la membrana celular de la planta. Mientras, el amonio tiene que ser convertido a nitrato y en este proceso interviene algunas enzimas.

La úrea es otra fuente muy utilizada, y presenta una alta concentración de nitrógeno (46%), que debe ser convertida a amonio en el suelo por la ureasa que es una enzima que favorece el proceso de absorción posterior por parte de la planta. Lo que implica una menor aplicación del fertilizante en las plantaciones, ya que va más concentrado (menos sacos aplicados por ha.) pero a la vez se presentan mayores riesgos de pérdidas –por volatilización ante las altas temperaturas y los pH altos en el suelo: como ocurre en Guanacaste- por no incorporarla en el suelo. Por lo que este producto requiere un adecuado manejo.

Fuente: Chaves (1997, 1999, 2010); y reuniones técnicas con Chaves (2012).

El primer año es caña planta, mientras los cortes sucesivos son socas o retoños. Una plantación modelo básica consistiría en caña planta más cuatro socas, y después renovar el cultivo nuevamente. El manejo de una plantación varía desde caña planta hasta la última soca. Por ejemplo, en las últimas socas se detecta que los rendimientos vienen cayendo por diferentes razones. Tales como: los efectos de acumulación de plagas, enfermedades, en ausencia de un buen manejo existe insuficiencia de fertilizantes en el suelo, etc. ¹³

¹² En las plantaciones de caña de azúcar, el establecimiento constituye el rubro más costoso relacionado con la producción.

¹³ Los casos asociados a la utilización de una variedad que presente la particularidad que se desgasta rápido han venido siendo reducidos por medio del mejoramiento genético implementado en años recientes en Costa Rica. La introducción de nuevas variedades que presentan menor desgaste implica a su vez un alto

El comportamiento de la caña planta presenta diferencias en el ámbito mundial. Particularmente, en lo relacionado con nitrógeno existen países en los cuales la respuesta al nitrógeno de la caña planta es bajo –por ejemplo Brasil- lo que implica que se realice únicamente una aplicación básica. Por el contrario, otros países reportan muy buena respuesta de la caña planta al nitrógeno, ya que se supone que en el caso de la caña planta viene con todo el vigor por ser material vegetativo nuevo y en términos genéticos tiene un muy buen potencial. Con el paso del tiempo, las plantas de caña van a presentar una respuesta menos que proporcional a los fertilizantes aplicados, por eso es que cuando se va a realizar el último ciclo vegetativo la fertilización se centra en nitrógeno, lo que implica no invertir en otros elementos, ya que el propósito es obtener mayor producción y eso se logra aplicando nitrógeno.

En Costa Rica, diversas investigaciones conducidas por DIECA han mostrado que caña planta reporta una respuesta aceptable al nitrógeno a diferencia de Brasil (Chaves, comm. pers. 2012). Por lo que, la recomendación técnica es aplicar nitrógeno tanto a caña planta como a caña soca. Conforme la soca avanza: las fertilizaciones varían. Normalmente en caña planta se aplica una fertilización integral más completa, que incluye tanto fósforo como potasio¹⁴ y otros nutrimentos.

4. 1. 1 Componente: aplicación de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno

De acuerdo con el criterio experto (Chaves, comm. pers. 2012) y la proyección del área sembrada, se establece en el presente estudio una línea de análisis para la formulación de acciones de mitigación para la fase agrícola de producción: la introducción de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno en las plantaciones comerciales de caña de azúcar. Con el objetivo de mitigar las emisiones de óxido nitroso ligadas a la caña de azúcar, se definen tres opciones de reducción en la aplicación de nitrógeno en las plantaciones cañeras

mantenimiento e inversión en términos de fertilización, control de malezas y manejo. Las nuevas variedades tienen un potencial alto pero requieren que se les provea lo necesario, y en aquellos casos donde esto no ocurra los materiales vegetativos van a decaer.

¹⁴ El fósforo, que es conocido por el agricultor como “enraizador”. En el tanto, este elemento permite desarrollar el sistema radicular de la planta y de esta manera obtener tanto agua como nutrientes que permitan el adecuado crecimiento del cultivo. Mientras, el potasio es la “llave” de acción del nitrógeno y tiene una gran importancia sobre las funciones enzimáticas, por lo que en su ausencia podrían presentarse problemas en la absorción de nitrógeno por parte de la planta de caña de azúcar. En caña planta también es importante hacer la corrección de la acidez de los suelos –i.e. la Zona Sur de Costa Rica muestra altos grados de acidez de suelos que deben corregirse-. La oportunidad de mejorar muchos factores del cultivo se ubican en la fase de caña planta, ya que cuando la plantación está establecida se dificulta la implementación de medidas correctivas.

costarricenses¹⁵ (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2). Tal como se muestra a continuación.

Opción 1: Reducción del 5% en la aplicación de nitrógeno

Una reducción del 5% en la cantidad total de nitrógeno aplicado no tendría en principio implicaciones importantes en cuanto a reducción de los rendimientos del cultivo, por lo que no habría impacto negativo sobre la productividad agroindustrial de la caña de azúcar. Este porcentaje se basaría en un uso idóneo del fertilizante nitrogenado aplicado en las plantaciones, que consiste en una aplicación óptima (fuente y dosis) en la forma y el momento oportuno¹⁶ y procurar menores pérdidas tanto por volatilización –por temperatura- como también por lixiviación –por lavado¹⁷-. Por otro lado, realizando un adecuado manejo del fertilizante nitrogenado y protegiendo el suelo de las pérdidas que usualmente ocurren en las plantaciones¹⁸.

Opción 2: Reducción del 15% en la aplicación de nitrógeno

Una disminución del 15% en la aplicación de nitrógeno se asocia al uso de nuevas fuentes nitrogenadas (ver recuadro 5), que reportarían una mejor eficiencia técnica en cuanto a su liberación y consecuente absorción por parte de la planta de caña. Estas fuentes nitrogenadas presentan una característica de liberación y uso controlado del nitrógeno, que a su vez estaría asociada a una reducción importante de la cantidad de fertilizante aplicado; sin provocar impactos negativos significativos sobre los rendimientos de la caña de azúcar. El principio general procurado en este caso es reducir (-15%) la cantidad de nitrógeno sin reducir la productividad agroindustrial.

Opción 3: Reducción del 25% en la aplicación de nitrógeno

¹⁵ La nutrición es un proceso integral enfocado al adecuado desarrollo de la planta de caña de azúcar. Dentro del cual, el presente estudio está enfocado únicamente en el nitrógeno por tratarse del causante de la emisión de óxido nitroso. Por esta razón, las medidas de mitigación propuestas se dirigen exclusivamente a dicho GEL.

¹⁶ Es decir cuando la planta está en su mayor proceso de absorción, y además existe evidencia que el fertilizante nitrogenado será utilizado por la misma.

¹⁷ Asociado con el uso de fórmulas inadecuadas y/o aplicación del fertilizante nitrogenado en momentos de mucha precipitación.

¹⁸ El problema del nitrato de amonio es que altamente soluble, por lo que presenta el riesgo de perderse con las aguas del suelo ya sea cuando llueve o bajo ciertas condiciones de riego. Por lo que, un adecuado manejo debe ser aplicado, además la textura y el tipo de suelo intervienen en la capacidad de intercambio de dichos suelos –i.e. retención-, que en ocasiones provoca que los nitratos sean arrastrados del lugar de su aplicación y puedan provocar contaminación. En tanto, el amonio es una fuente cuya absorción es más lenta y requiere conversiones. La planta utiliza ambas vías, el nitrato de amonio ofrece igualdad en ambas fuentes: nitratos y amonio.

Una reducción del 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado se conseguiría con la combinación, integración y articulación de las dos opciones anteriores. Lo que implicaría que, de manera gradual los productores nacionales de caña de azúcar estarían aplicando fuentes idóneas de nitrógeno al tiempo, que se combinaría esta sustitución del nitrógeno tradicional con la implementación de buenas prácticas en las fincas (i.e. disminución de las pérdidas del fertilizante nitrogenado por lixiviación) de manera que logren optimizar el potencial de los productos y el nutrimento.

Recuadro 5

La fertilización con nuevas fuentes nitrogenadas en caña de azúcar

Las nuevas fuentes nitrogenadas están elaboradas sobre la base de la úrea. Por lo que, la introducción de una partícula revestida con una capa permeable provoca una liberación de sus componentes de manera regulada en tiempo. En el caso de la caña, esto resulta idóneo por tratarse de un cultivo de ciclo largo –anual y bianual-. La dosificación paulatina de cada planta hace presumir una mejor absorción y asimilación del nutrimento, que resulta ser la ventaja más fuerte que ofrecen estos nuevos fertilizantes. Los hay también inhibidores enzimáticos.

En el caso de la caña de azúcar, la disponibilidad de nutrimentos en el tiempo es muy importante virtud de su ritmo metabólico. Esta característica es la que se espera aprovechar con la aplicación de las nuevas fuentes nitrogenadas, y por esta razón se señalan como las fuentes idóneas para reducir la cantidad de nitrógeno aplicado y por tanto las emisiones de óxido nitroso. Esto en el tanto se presentaría una mejor asimilación y aprovechamiento del fertilizante, que a su vez sería absorbido por la planta en mayor cantidad.

Fuente: Reuniones técnicas con Chaves (2012).

Una reducción del 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado es ideal por dos razones fundamentales. Primero, los productores estarían realizando gradualmente una aplicación óptima de fertilizantes. Segundo, el uso de fuentes nitrogenadas que presuntamente estarían reduciendo la cantidad aplicada: sin que esto se traduzca en una caída de rendimientos en producción de caña¹⁹. El impacto positivo de las nuevas fuentes nitrogenadas supone, además, un criterio técnico que indica que el nitrógeno aplicado sería utilizado de mejor manera por la planta.

Un agricultor bien informado y capacitado podría aplicar menos cantidad de fertilizante nitrogenado sin provocar impactos negativos sobre la productividad²⁰. Por esta razón, las

¹⁹ Se utiliza la palabra “presuntamente” ya que, al momento de escribir el presente informe la investigación de campo en caña disponible **no** muestra resultados favorables asociados a dicha reducción en la cantidad de fertilizante nitrogenado.

²⁰ Los ámbitos promedio de aplicación de nitrógeno en Costa Rica según región productora de caña de azúcar se presentan en el cuadro 22.

tres opciones de reducir el nitrógeno aplicado en las plantaciones cañeras se visualiza como viable de alcanzar para el 2021. Ya que, la opción 1 muestra un énfasis en las labores del productor en la finca. Lo que a su vez apunta a intensificar los procesos de capacitación que ya se han venido implementado en el sector azucarero: en el sentido de que el productor sea consciente de alcanzar los mismos resultados sin la necesidad de incurrir en nuevos costos ya que estará realizando un mejor uso del fertilizante.

Por su parte, la opción 2 implica la necesidad de que las empresas fertilizantes promuevan los productos adecuados a precios y condiciones accesibles para alcanzar una reducción del 15% en la cantidad de fertilizantes nitrogenados convencionales. Mientras, la opción 3 representa una combinación de factores -adecuado manejo y sustitución de fertilizantes nitrogenados- por lo que se esperaría un mayor nivel de dificultad asociado a su implementación en las plantaciones de caña de azúcar.

En el cuadro 2 se presentan la estimación de las emisiones GEI para la caña de azúcar²¹, que muestran los suelos agrícolas como el punto clave para acciones de mitigación²². De acuerdo a la reducción en la aplicación de fertilización nitrogenada, se muestra tanto la línea base como las tres opciones de mitigación (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2). En el cálculo se consideran dos aspectos:

1. El factor de emisión proveído por el inventario de emisiones, se ajusta para cada escenario tomando como referencia el porcentaje de reducción del uso de nitrógeno. Se aplica criterio experto a partir de que no se tienen mediciones.
2. Se considera un efecto inmediato de la aplicación de la medida de mitigación, por cuanto técnicamente se considera posible su impacto una vez adoptada la práctica.

²¹ Los anexos incluyen el cuadro A1, que muestra tanto las emisiones de óxido nitroso, como su conversión a CO₂ equivalente. Lo que se consigue aplicando un factor multiplicador de 310 sobre cada unidad de óxido nitroso emitido. Por cuanto, esta cifra corresponde al potencial de calentamiento global del óxido nitroso (IMN, s.f.).

²² Con respecto a los datos presentados en el cuadro 2, la valoración en términos absolutos debe realizarse con mucho cuidado ya que los cálculos se apoyan en referencias intuitivas con base en la consulta a expertos (Chaves, comm. pers. 2012, y validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2).

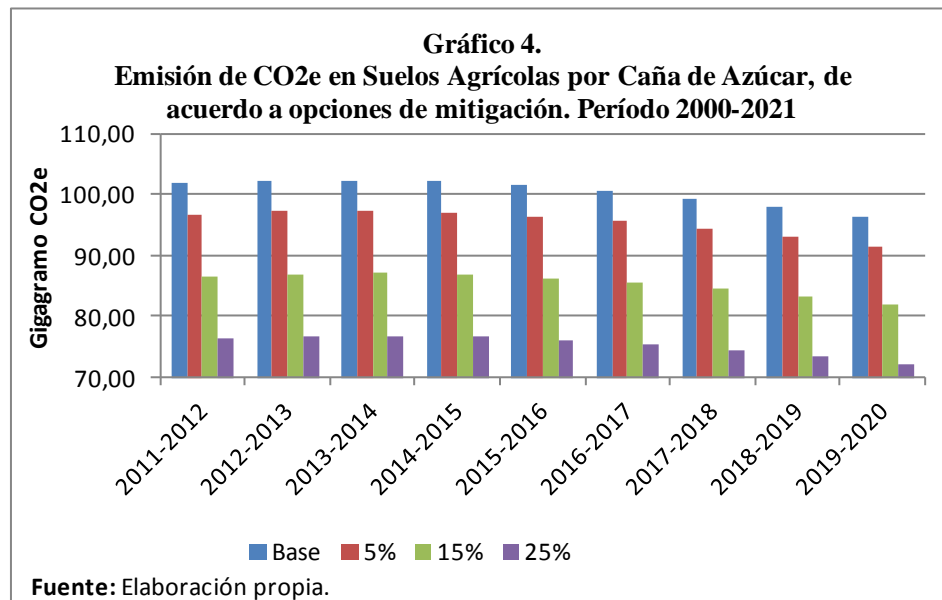
Cuadro 2

Caña de azúcar: Emisiones totales de CO₂e por escenarios de mitigación (en Gg)

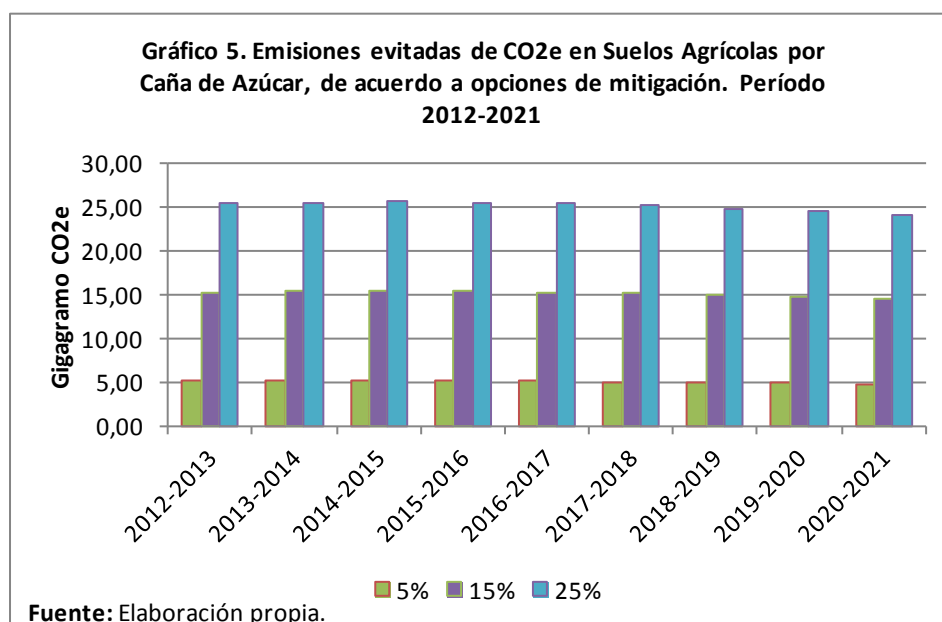
Zafra	Área sembrada (has)	Línea Base: emisión CO ₂ e (Gg)	Escenarios de mitigación: emisión CO ₂ e (Gg)		
			5%	15%	25%
2012-2013	58.023	102	97	87	76
2013-2014	58.294	102	97	87	77
2014-2015	58.362	102	97	87	77
2015-2016	58.225	102	97	87	77
2016-2017	57.887	102	96	86	76
2017-2018	57.363	101	96	86	75
2018-2019	56.676	99	94	85	75
2019-2020	55.856	98	93	83	74
2020-2021	54.938	96	92	82	72
TOTAL		905	859	769	679

Fuente: Elaboración propia con información de LAICA (2012) e IMN (2009).

El gráfico 4 muestra las emisiones de CO₂e, correspondientes a la fertilización nitrogenada en las plantaciones de caña de azúcar en Costa Rica. De acuerdo a la reducción gradual en la aplicación de fertilización nitrogenada, se muestra tanto la línea base como las tres opciones de mitigación (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2).



Por su parte, el gráfico 5 muestra las emisiones evitadas asociadas con cada opción de mitigación. Considerando la gradualidad en la implementación del mejoramiento del ciclo de carbono, la opción del 25% reporta la mayor cantidad de emisiones evitadas de CO₂e. Este comportamiento podría explicarse de la siguiente forma. Una reducción del 25% en la cantidad de nitrógeno aplicado implicaría que, de manera gradual los productores nacionales de caña de azúcar estarían aplicando fuentes idóneas de nitrógeno al tiempo, que se combinaría esta sustitución del nitrógeno tradicional con la implementación de buenas prácticas en las fincas (i.e. disminución de las pérdidas del fertilizante nitrogenado por lixiviación) de manera que logren optimizar el potencial de los productos y el nutrimento.



El comportamiento antes mencionado se confirma cuando se calcula el porcentaje de emisiones evitadas. Dado que el factor de emisión para caña de azúcar (5,66) es una constante (MINAET, 2009), el resultado es que una reducción del 25% en la aplicación de fertilizantes nitrogenados se traduce en un descenso de las emisiones de óxido nítrico en la misma cuantía. Razón por la cual, el escenario del 25% resulta ser el óptimo en términos de mitigación de GEI²³.

En este punto es necesario mencionar que, aún cuando el Inventario Nacional de Emisión de Gases con Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005 (MINAET, 2009) no lo indica, el factor de emisión de 5,66 Kg./ha./año para óxido

²³ El estado actual de la información sobre factores de emisión (MINAET, 2009) no permite afinar el cálculo del porcentaje de emisiones evitadas. Por lo que, nueva investigación y verificación en el campo es necesaria para precisar los factores de emisión de acuerdo con las cantidades de nitrógeno aplicado en las plantaciones cañeras, y de esta forma obtener nuevos datos sobre el efecto de los cambios en las cantidades aplicadas de fertilizante y su consecuente impacto en productividad de caña de azúcar.

nitroso en caña de azúcar fue calculado tomando como referencia una fertilización cercana a 130 Kg. de nitrógeno aplicado por hectárea (Chaves, comm. pers. 2012)²⁴. Sin embargo, los niveles de aplicación de nitrógeno en cada una de las regiones cañeras de Costa Rica presentan una importante variación. Tal como lo muestra el cuadro 3, la dispersión en el ámbito nacional va desde 30 hasta los 240 Kg./ha./año. Adicionalmente, las fórmulas comerciales predominantes difieren entre las regiones.

Cuadro 3. Ámbitos Promedio de Aplicación de Nitrógeno en Costa Rica Según Región Productora de Caña de Azúcar. Año 2012.

REGIÓN PRODUCTORA	Producción Caña (%)*	Área Sembrada (%)*	Kg/ha	Fórmulas Comerciales Predominantes
			N	
Guanacaste	55,06	53,14	100-160	Urea; 25,7-6,9-21; 26-0-26; 25,7-5,1-15-5,5;40,4-9,2-0; 10-30-10
Puntarenas	7,41	8,77	60-160	Nitrato Amonio; Urea; 18-46-0
Valle Central	10,49	7,81	110-190	Nitrato Amonio; 15-3-31; 30,7-0-7-7,33; 10-30-10
San Carlos	11,18	13,88	30-126	21-5-18-1-0-4,2-3,2; 20-5-15-3,2-0-3,2; 16-16-16; 10-30-10
Turrialba - Juan Viñas	7,42	8,31	42-240	Nitrato Amonio; 20-4-31; 15-4-34; 17,2-5,2-23,5-4,5-5,5; 10-30-10
Zona Sur	8,44	8,09	90-140	17-2-25-5-6-1,4; 10-50-0
Nacional	100	100	30-240	

1/ * Correspondientes a la zafra 2010 - 2011.

Fuente: Chaves Solera, M. (DIECA - LAICA 2012).

Esta situación nos indica que los casos donde el nivel de fertilización con nitrógeno es menor a 130 Kg./ha./año, suponen e implican necesariamente un factor de emisión más bajo que 5,66 Kg./ha./año. Esta corrección a su vez permitiría mostrar menores emisiones de óxido nitroso asociado a la caña. Lamentablemente, este indicador ajustado no existe en Costa Rica y se requiere de nueva investigación para establecer factores de emisión que permitan reflejar los distintos niveles de nitrógeno aplicados en las plantaciones de caña de azúcar²⁵ (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2).

²⁴ Esta dosis estaba relacionada con un nivel de fertilización promedio de la región cañera-de Guanacaste y Pacífico Central que en su conjunto de la producción nacional en la zafra 2010-2011 (MINAET, 2009).

²⁵ Dada esta ausencia de información ajustada a los distintos niveles de fertilización nitrogenada aplicada en Costa Rica, el factor de emisión utilizado en el presente documento se mantiene fijo en 5,66 Kg./ha./año por tratarse del dato oficial (MINAET, 2009).

4.1.2 Aproximación al Abatimiento: fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno

Tal como se mostró en los gráficos anteriores, la mitigación de emisión de GEI se obtiene a partir del mejoramiento del ciclo de carbono: mediante fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno y componentes complementarios. Lo que permite evitar emisiones asociadas a los procesos de fertilización de las plantaciones cañeras, además de contribuir positivamente a la reducción de emisiones de óxido nitroso, brinda beneficios económicos al productor en la medida en que el VAN es positivo.

En términos de fertilizantes derivados del nitrógeno, las fórmulas comerciales predominantes de uso corriente en la producción de caña de azúcar para la aplicación de nitrógeno son las siguientes: Urea; 25,7-6,9-21; 26-0-26; 25,7-5,1-15-5,5; 40,4-9,2-0; 10-30-10; Nitrato Amonio; 18-46-0; 15-3-31; 30,7-0-7-7,33; 10-30-10; 21-5-18-1-0-4,2-3,2; 20-5-15-3,2-0-3,2; 16-16-16; 20-4-31; 15-4-34; 17,2-5,2-23,5-4,5-5,5 y 17-2-25-5-6-1,4; 10-50-0 (Chaves Solera, M. 2012. DIECA, LAICA)²⁶. Para efectos de comparación de precios y aplicación de fertilizantes nitrogenados, el cuadro 4 muestra la cantidad promedio aplicada por ha/año en las distintas regiones cañeras del país y precios.

Cuadro 4
Caña de azúcar: utilización y precio de fertilizantes nitrogenados

Nombre Comercial/Región	Fórmula	Nitrógeno aplicado kg/ha/año (1)	Precio US\$/saco (2)
Varias marcas	Urea		22,68 – 21,15
10-30-10	N – P – K		29,18 – 26,74
Región:			
Guanacaste		100 – 160	
Puntarenas		60 – 160	
Valle Central		110 – 190	
San Carlos		30 – 126	
Turrialba–Juan Viñas		42 – 240	
Zona Sur		90 – 140	
Promedio país (3)		130	

Fuentes:

- (1) Chaves Solera, M. (2012). DIECA, LAICA, correspondientes a la zafra 2010 – 2011.
- (2) MEIC (2011), precios analizados entre octubre de 2009 y setiembre de 2010 para saco de 45 kg. Tipo de cambio utilizado por MEIC: 511,28 colones por US\$.
- (3) Corresponde a la fertilización promedio aplicada en Guanacaste y Puntarenas que representan conjuntamente el 61,91% del área sembrada y el 62,47% de la producción total de caña. Montenegro, J. (2001).

²⁶ El porcentaje de nitrógeno en algunos fertilizantes conocidos es urea (46%), fosfonitrato (33%) y sulfato de amonio (21%).

La variabilidad en el precio por saco se muestra en el precio por kg para el productor según la casa distribuidora como se muestra en el cuadro 5²⁷.

Cuadro 5
Caña de azúcar: precios de fertilizantes nitrogenados

Establecimiento comercial	Urea		N – P – K	
	Colones	US\$/kg	Colones	US\$/kg
Distribuidor Agrocomercial Grecia	484	0,95	434,57	0,85
El Surco Pacayas	477	0,93	434,18	0,85
Dos Pinos Cartago	325	0,64	332,00	0,65
Fertica San José	311	0,61	317,78	0,62
Coopebaires RL. Pacayas	483	0,95	306,67	0,60
Cultivar Grecia	396	0,77	287,69	0,56
Cafesa San José	342	0,67	287,67	0,56
Cámara de Cañeros Grecia	345	0,67	238,44	0,47
Casagro San Ramón	374	0,73		–
Diferencia mayor a menor (%)	55,63%	X=\$0,77	82,26%	X=\$0,65

Fuente: MEIC (2011).

Para efectos del siguiente análisis de costos de línea base y del costo incremental de los tres escenarios de mitigación, se considera el precio promedio por kg en US\$0,77 para la urea y US\$1,25 para el fertilizante de liberación controlada de nitrógeno bajo el nombre comercial de Nitro–Xtend²⁸. Por otro lado, considerando una estimación lineal para los precios de los fertilizantes considerados (variaciones anuales alrededor de una tendencia lineal constante), los mismos se mantienen alrededor de US\$0,77²⁹. Para efectos del cálculo del costo incremental de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno se utiliza el precio de la urea presentado anteriormente y un rango de precio para el Nitro–Xtend entre US\$0,80 y US\$1,25 por kg para saco de 45 kg.

A partir de las estimaciones presentadas en el Cuadro 2 de las emisiones proyectadas de óxido nitroso y CO₂e, calculadas por ha/año para el período 2012 – 2021, en el cuadro 6 se presentan dichas emisiones en términos de kg (unidad utilizada para efectuar el análisis de costos comparativos de la fertilización actual y la propuesta de fertilización de uso de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno).

²⁷ Por causas externas como la variación en los precios internacionales y la variación en el tipo de cambio interno y por políticas administrativas y comerciales del distribuidor.

²⁸ Existen también las fórmulas Nitro–Xtend+S, Nitro–Xtend+Mg, Nitro–Xtend+K, Nitro–Xtend+Zn. El precio del Nitro–Xtend en Costa Rica para sacos de 45 kg se ubica en 18.000 colones o US\$36, lo cual representa US\$0,80/kg (información suministrada por Carolina Del Barco en ABOPAC, el 04/06/2012) o en US\$1,10/kg según López, Juan Antonio (DISAGRO de Guatemala, Mayo, 2011)

²⁹ Según DISAGRO de Guatemala (Mayo, 2011) el precio para la urea a esa fecha era de US\$0,97.

Cuadro 6
Caña de azúcar: proyección de área sembrada y emisiones de CO_{2e} (en kg)

Zafra	Área sembrada (has)	Línea Base: emisión CO _{2e} (kg)	Escenarios de mitigación: emisión CO _{2e} (kg)		
			5%	15%	25%
2012-2013	58.023	101.806.410	96.716.090	86.535.450	72.537.060
2013-2014	58.294	102.282.890	97.168.740	86.940.450	72.876.560
2014-2015	58.362	102.402.770	97.282.630	87.042.360	72.961.980
2015-2016	58.225	102.160.890	97.052.840	86.836.750	72.789.630
2016-2017	57.887	101.567.670	96.489.290	86.332.520	72.366.960
2017-2018	57.363	100.648.720	95.616.280	85.551.410	71.712.210
2018-2019	56.676	99.443.680	94.471.500	84.527.130	70.853.630
2019-2020	55.856	98.004.570	93.104.340	83.303.880	69.828.260
2020-2021	54.938	96.393.470	91.573.800	81.934.450	68.680.350

Fuente: Elaboración propia con información de LAICA (2012) e IMN (2009).

Los escenarios analizados, tal como se ha señalado anteriormente buscan mantener la cantidad de fertilizante y sustituir la fórmula por los nuevos productos existentes en el mercado de liberación controlada de nitrógeno. Los cálculos asimismo se realizan, utilizando además el promedio nacional de aplicación de 130 kg/ha/año. Según el Cuadro 2 el área sembrada estará reduciéndose de 58.023 has para la zafra 2012–2013 hasta 54.938 para la zafra 2020–2021. Como no se reduce la cantidad de fertilizante aplicado por ha. ni la frecuencia de las aplicaciones, y dado que la presentación comercial continua siendo saco de 45 kg, el costo de fertilización para la línea base se muestra en el cuadro 7. Asume que ninguna de las has. cultivadas adopta la tecnología de los nuevos fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno.

Cuadro 7. Línea base: costo de fertilización nitrogenada actual

Zafra	Área sembrada (has)	Línea Base: US\$ (1)
2012–2013	58.023	5.808.102
2013–2014	58.294	5.835.229
2014–2015	58.362	5.842.036
2015–2016	58.225	5.828.322
2016–2017	57.887	5.794.488
2017–2018	57.363	5.742.036
2018–2019	56.676	5.673.267
2019–2020	55.856	5.591.186
2020–2021	54.938	5.499.294

Fuente: Elaboración propia. (1) Resulta de multiplicar el área sembrada por el costo promedio actual de fertilización con nitrógeno de 130 kg/ha/año x US\$0,77/kg.

Para alcanzar cada uno de los escenarios de mitigación mencionados, distintos porcentajes del área total sembrada deben trasladarse del uso de fertilizantes nitrogenados

convencionales a las nuevas fórmulas, representando un aumento neto de costos de producción para el productor porque se mantienen los supuestos de rendimientos iguales con los fertilizantes convencionales, y ningún reconocimiento especial en los precios de venta del producto final.

Con los tres escenarios de mitigación se supone que al 2021 un 5%, 15% o 25% del área sembrada se fertiliza con las nuevas fórmulas y se supone que el cambio tiene lugar de una vez al iniciar el período 2012-2021 y se mantiene a lo largo del mismo. Asociado con dichas reducciones tiene lugar una reducción en la cantidad de nitrógeno aplicado por ha/año de las siguientes magnitudes: para el escenario de 5% no hay reducción en la cantidad aplicada de nitrógeno, para el escenario del 15% se recomienda al productor reducir en 15% la cantidad aplicada de nitrógeno de liberación controlada y para el escenario de 25% se recomienda al productor reducir en 25% la cantidad aplicada de nitrógeno de liberación controlada.³⁰ Dichas estimaciones se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Escenarios de mitigación: costo incremental de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno

Zafra	Escenarios de mitigación: Has cambiadas y costo en US\$					
	5%		15%		25%	
	has	US\$ (1)	Has	US\$ (2)	has	US\$ (3)
2012–2013	2.901	49.218	8.703	125.025	14.506	183.860
2013–2014	2.915	49.448	8.744	125.609	14.574	184.719
2014–2015	2.918	49.506	8.754	125.756	14.591	184.935
2015–2016	2.911	49.389	8.734	125.460	14.556	184.500
2016–2017	2.894	49.103	8.683	124.732	14.472	183.429
2017–2018	2.868	48.658	8.604	123.603	14.341	181.769
2018–2019	2.834	48.075	8.501	122.123	14.169	179.592
2019–2020	2.793	47.380	8.378	120.356	13.964	176.994
2020–2021	2.747	46.601	8.241	118.378	13.735	174.085

Fuente: Elaboración propia. (1) Resulta de multiplicar el área cambiada por un costo incremental de fertilización de nitrógeno de 130,0 kg/ha/año x US\$ (1,10–0,97)/kg. (2) Resulta de multiplicar el área cambiada por un costo incremental de fertilización de nitrógeno de 110,5 kg/ha/año x US\$ (1,10–0,97)/kg. (3) Resulta de multiplicar el área cambiada por un costo incremental de fertilización de nitrógeno de 97,5 kg/ha/año x US\$ (1,10–0,97)/kg. Los porcentajes de reducción en la aplicación de nitrógeno de liberación controlada fueron propuestos y validados en el taller de expertos.

³⁰ Validado en el taller de expertos.

El costo nominal efectivo de la mitigación por cada kg de CO_{2e} evitado resulta de dividir el costo incremental de la aplicación de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno según la cantidad de has que realizan el cambio en cada escenario de mitigación, por la cantidad de kg de CO_{2e} reducidos según cada uno de los escenarios de mitigación. Otros costos relacionados con la aplicación, tales como mano de obra no son relevantes en la determinación del costo incremental porque tiene el mismo costo aplicando fertilizantes convencionales o fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno, ya que no se cambia ni la cantidad ni la frecuencia de la aplicación. Además el costo relevante para la comparación no es el precio del fertilizante de liberación controlada de nitrógeno, sino la diferencia con el precio del fertilizante nitrogenado corriente. La reducción de emisiones se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Escenarios de mitigación: costo nominal efectivo de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno (1)

Zafra	Escenarios de mitigación: kg de CO _{2e} evitados y costo en US\$					
	5%		15%		25%	
	kg (2)	US\$	kg (2)	US\$	kg (2)	US\$
2012–2013	5.090.320	49.218	15.270.960	125.025	29.269.350	183.860
2013–2014	5.114.150	49.448	15.342.440	125.609	29.406.330	184.719
2014–2015	5.120.140	49.506	15.360.410	125.756	29.440.790	184.935
2015–2016	5.108.050	49.389	15.324.140	125.460	29.371.260	184.500
2016–2017	5.078.380	49.103	15.235.150	124.732	29.200.710	183.429
2017–2018	5.032.440	48.658	15.097.310	123.603	28.936.510	181.769
2018–2019	4.972.180	48.075	14.916.550	122.123	28.590.050	179.592
2019–2020	4.900.230	47.380	14.700.690	120.356	28.176.310	176.994
2020–2021	4.819.670	46.601	14.459.020	118.378	27.713.120	174.085

Fuente: Elaboración propia. (1) Se refiere al efecto combinado de una reducción en la cantidad de nitrógeno aplicado y la diferencia de precio entre la urea y el Nitro–Xtend, ya que otros costos como la mano de obra de aplicación, cantidad y frecuencia de las aplicaciones permanecen iguales con ambas tecnologías. Además supone que los rendimientos no se ven afectados negativa ni positivamente con la aplicación del Nitro–Xtend. (2) Corresponden a la diferencia entre las emisiones de línea base y la reducción de emisiones o escenarios de mitigación indicados en el Cuadro 26 anterior del 5%, 15% y 25% respectivamente.

Del cuadro 9 se obtiene el costo nominal efectivo de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno en una base por kg. que puede ser utilizada para diseñar un incentivo o política económica para compensar el costo adicional a los productores que

efectúen el cambio, dado que el precio del azúcar se determina con base en un modelo de costos.

En términos del VAN, el valor presente de la fertilización de liberación controlada de nitrógeno alcanza US\$884.029.129 para el escenario del 5%, US\$ 883.596.278 para el escenario del 15% y US\$883.260.336 para el escenario del 25%. Tal como se muestra en el Cuadro 10. El valor actual neto de la fertilización resulta de restar al valor presente de los ingresos de los productores, descontados al 10%, el valor presente de los costos de fertilización para los tres escenarios. El valor presente de la fertilización resulta de sumar al costo de la fertilización del escenario base el aumento neto de costos que resulta de aplicar cantidades menores de fertilizante de liberación controlada por el diferencial de precios de los mismos (ver Cuadro 8 anterior).

Para el cálculo del ingreso de los productores se aplica el porcentaje de 62,5%, establecido en 1971 por Ley 4856 y ratificado en 1998 por Ley 7818, al precio por tonelada en el mercado preferencial de los Estados Unidos. Para evaluar la evolución de los precios se consultó IICE (2010)³¹ para los precios del período 1990-2007 (pág. 158), LAICA para los precios del período 2000-2011 (ver Anexo) e internet para el dato más reciente.³² Desde el año 2000 los precios internacionales han tenido un comportamiento creciente hasta alcanzar US\$573,20.

Para el cálculo de los ingresos de los productores se utilizaron dos escenarios de precios, los prevalecientes en el año 2000 como un escenario pesimista de precios bajos y los más recientes como un escenario optimista de precios altos. El VAN para el escenario optimista se presenta en el Cuadro 10 siguiente.

Cuadro 10
Valor Actual Neto de la fertilización de liberación controlada de nitrógeno (US\$)

Escenario de fertilización de liberación controlada de nitrógeno	Valor Actual Neto de fertilización de liberación controlada de nitrógeno (US\$)
5%	884.029.129
15%	883.596.278
25%	883.260.336

Fuente: Elaboración propia.

³¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, CONICIT y UCR. Enero de 2010. *Desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en el Siglo XX: aspectos económicos, institucionales y tecnológicos.*

³² Unión Nacional de Cañeros de México (Comité Ejecutivo Nacional). www.cañeros.org.mx consultada el 09/10/2012 muestra un precio de US\$ 567,69 la tonelada en el mercado doméstico de los Estados Unidos (equivalente a US\$28,38 el bulto de 50 kg) y de US\$573,20 la tonelada de azúcar blanca, precios al 12 de setiembre de 2012.

Según la información de precios para urea y Nitro–Xtend a la fecha del estudio, el precio de este último supera al de la urea en un 13,40% (US\$1,10/US\$0,97 por kg según López, (Mayo, 2001) de DISAGRO, Guatemala) o en un 9,09% (US\$0,80/US\$0,73 por kg según Del Barco (Junio, 2012) de ABOPAC, Costa Rica). El aumento en el costo de la fertilización de liberación controlada de nitrógeno, considerando su peso relativo en la estructura de costos de la actividad agrícola, que se calculó en 17,12% para el promedio nacional de los costos agrícolas para siembra y manejo de caña de azúcar (Chaves, 2011), representa un aumento de 1,56% en el costo total de producción que podría considerarse moderado debido a los efectos positivos en la reducción de emisiones de óxido nítrico. Aún si los rendimientos no cambiaran y no hubieran políticas públicas para reconocer dicho efecto en el precio final del azúcar al consumidor o al industrial, las posibilidades económicas del sector azucarero en su fase agrícola para adoptar la medida podrían ser altas, mejorando mucho su imagen pública, ya que como se indica el cuadro 10 anterior dicho aumento debería consistir en 4,85 colones por kg.³³

Sin embargo, si se comprobase un aumento en los rendimientos (o bien una reducción en la cantidad de fertilización requerida ante una mejora en la absorción del nitrógeno),³⁴ podría ser posible que el costo de la fertilización con nitrogenados de liberación controlada de nitrógeno se compense por la reducción en la cantidad aplicada sin afectar el rendimiento, o incluso con aumentos en el rendimiento. La información disponible sobre rendimientos y necesidades de aplicación proporcionada por los fabricantes de los nuevos agroquímicos debe ser sometida a verificación por expertos del sector y autoridades de gobierno para dar una base sólida a las sugerencias anteriormente planteadas.

Una forma alternativa de analizar el impacto financiero del cambio de fórmula nitrogenada y la reducción en la cantidad aplicada del mismo en cada uno de los escenarios, es aplicar las reducciones de 5%, 15% y 25% pero no al promedio nacional de 130 kg/ha/año, sino al punto medio del rango de aplicación por región, rangos establecidos en los Cuadros 9 y 10 anteriores. Es importante notar, sin embargo, que el análisis anterior utilizando el promedio nacional coincide exactamente con la región de Guanacaste, que representa el 55,06% de la producción de caña y el 53,14% del área sembrada, ya que el promedio de Guanacaste es igual al promedio nacional. Además, el promedio nacional calculado de esta forma alcanza los 135 kg/ha/año, cifra muy similar al promedio nacional de 130 kg/ha/año.

³³ Resultado de aplicar un tipo de cambio de 500 colones por US\$ al costo nominal efectivo de US\$0,0097 por kg.

³⁴ López, Juan Antonio (Mayo, 2011) reporta aumentos en el rendimiento de la producción de caña de azúcar en Guatemala y Brasil de 11, 7% y 15,7% respectivamente, con respecto a la urea. Según Chaves Solera esa información aun debe ser generada con los estudios correspondientes, pero actualmente no se encuentra disponible.

Cuadro 11.
Aplicación de nitrógeno en Costa Rica por Región Productora de Caña de Azúcar.

REGIÓN PRODUCTORA	Producción Caña (%) ¹	Área Sembrada (%) ¹	Rango kg/ha N	Aplicación de N por región (kg/ha)			
				Punto medio del Rango	5%	15%	25%
Guanacaste	55,06	53,14	100-160	130	123,5	110,5	97,5
Puntarenas	7,41	8,77	60-160	110	104,5	93,5	82,5
Valle Central	10,49	7,81	110-190	150	142,5	127,5	112,5
San Carlos	11,18	13,88	30-126	78	74,1	66,3	58,5
Turrialba - Juan Viñas	7,42	8,31	42-240	141	134,0	119,9	105,8
Zona Sur	8,44	8,09	90-140	115	109,3	97,8	86,3
Nacional	100,00	100,00	30-240	135	128,3	114,8	101,3

(1) Correspondientes a la zafra 2010 - 2011.

Fuente: Elaboración propia basada en Chaves Solera, M. DIECA - LAICA (2012).

El cuadro 12 muestra el costo nominal efectivo de la fertilización nitrogenada por región para el escenario de mitigación del 25%. Guanacaste, siendo la región más extensa, da cuenta de la mayor parte del costo. El cálculo siguiente considera la diferencia de precio utilizada anteriormente (US\$1,10 – US\$0,97), pero incorpora la diferencia de aplicación de nitrógeno según regiones mostrada en la última columna del cuadro 11 anterior.

Cuadro 12
Escenario de mitigación del 25%: costo nominal efectivo de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno por región (1)
(en US\$)

Zafra	Guanacaste	Puntarenas	Valle C	S. Carlos	Turrialba	Zona Sur
2012–2013	97.703	13.644	16.569	15.312	16.579	13.166
2013–2014	98.160	13.708	16.646	15.383	16.657	13.227
2014–2015	98.274	13.724	16.665	15.401	16.676	13.243
2015–2016	98.044	13.691	16.626	15.365	16.637	13.212
2016–2017	97.474	13.612	16.530	15.276	16.541	13.135

2017-2018	96.592	13.489	16.380	15.138	16.391	13.016
2018-2019	95.435	13.327	16.184	14.956	16.195	12.860
2019-2020	94.054	13.134	15.950	14.740	15.960	12.674
2020-2021	92.509	12.918	15.688	14.498	15.698	12.466

Fuente: Elaboración propia. (1) Se refiere al efecto combinado de una reducción en la cantidad de nitrógeno aplicado por región y la diferencia de precio entre la urea y el Nitro-Xtend. Supone que los rendimientos actuales no se ven afectados negativa ni positivamente con la aplicación del Nitro-Xtend en ninguna de las regiones.

A pesar de tales diferencias de costos por región, si se suman los costos del cuadro 12 para obtener un total país y compararlo con los costos totales por país mostrados en el cuadro 8 (para la última columna de ese cuadro correspondiente al escenario de mitigación del 25%) se concluye que considerar las diferencias en el promedio de aplicación por región (medido como el punto medio del rango de aplicación) no da como resultado una diferencia económica sustancial a nivel nacional, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 13
Costo nominal efectivo de la fertilización nitrogenada de liberación controlada de nitrógeno por región, según promedio nacional de aplicación y según punto medio del rango por región
(Escenario de mitigación del 25%: en US\$)

Zafra	Usando promedio nacional: 130 kg/ha	Usando punto medio del rango por región (1)	Diferencia
2012-2013	172.973	183.860	-10.887
2013-2014	173.781	184.719	-10.938
2014-2015	173.984	184.935	-10.951
2015-2016	173.575	184.500	-10.925
2016-2017	172.567	183.429	-10.862
2017-2018	171.005	181.769	-10.764
2018-2019	168.957	179.592	-10.635
2019-2020	166.513	176.994	-10.481
2020-2021	163.776	174.085	-10.309

Fuente: Elaboración propia (se indica en el Cuadro 12).

Costo del Abatimiento

Las emisiones evitadas de CO₂e por mejoramiento del ciclo del CO₂ tienen un costo, que se ha denominado costo del abatimiento. De acuerdo con el gráfico 5, el total de emisiones evitadas alcanzan 45 Gg. en la opción del 5%, 136 Gg. para el 15% y 226 Gg. para el 25%³⁵. En términos monetarios, el costo de abatimiento corresponde a US\$6.213/Gg. en la opción del 5%, US\$5.260/Gg. en la opción del 15% y US\$4.642/Gg. en la opción del 25%.

Cuadro 14. Costo del abatimiento por mejoramiento del ciclo de carbono(en US\$)

	5%	15%	25%
Emisiones evitadas (Gg)	45	136	226
Costo de abatimiento (en US\$ por Gg)	6.213	5.260	4.642

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Componentes complementarios

De manera complementaria a la fertilización nitrogenada, los productores de caña de azúcar han venido generando experiencia en estrategias complementarias para mejorar el ciclo del carbono (ver recuadro 6). A este respecto, la aplicación de abonos orgánicos ha permitido reducir los impactos ambientales de la producción en las fincas. Dado que, los abonos orgánicos mejoran la capacidad de intercambio del suelo y de retención de nutrientes, que se traduce en menos contaminación (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2).

Otra acción complementaria se desarrolla en Turrialba. Donde algunos productores cosechan en verde y generan una cantidad importante de hojarasca que queda en el cañal. Como respuesta a este material vegetal, estos productores practican la “remanga”, que es separar la hojarasca del surco para que tener una buena “brotación” del retoño. Esto beneficia tanto al retoño como a la plantación que dispone de materia seca como fuente de nutrientes. Esta práctica podría contribuir a reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado que se aplica a las plantas de caña.

³⁵ Los datos que dan sustento a dicho gráfico se ubican en los anexos (cuadro A2).

Recuadro 6 **Experiencias en la Región Brunca**

En la Región Brunca, el uso de la broza del café (residuo del proceso de beneficiado) ha permitido reducir la fertilización química como resultado del uso de abonos orgánicos. Aunque no se cuenta con estudios, el abono orgánico se está aplicando como un complemento al nitrógeno, que además aporta fósforo y potasio al suelo. Otros subproductos del beneficiado del café (ceniza, cachaza) son aplicados también en el campo –en niveles masivos- y se trasciende como recomendación al productor para que lo utilice en su finca. En la Región no se utiliza ninguna fuente pura nitrogenada (Nútran, Urea o Sulfato de Amonio), y no se recomienda precisamente por la vinculación que hay con la aplicación de abonos orgánicos al momento de la siembra. El trabajo de DIECA-LAICA permite producir alrededor de más de 150 000 sacos de abono orgánico, que se ponen a disposición de los productores en condiciones muy competitivas. Ya que, la producción no se sacrifica sino que bajo sus condiciones de suelo –del orden ultisol y baja fertilidad- se maximiza. El nitrógeno que se aplica es el que va incorporado en la fórmula (máximo 17% y mínimo 10%).

Fuente: Taller de Expertos (ver anexo 2).

En Costa Rica ya se está vendiendo papel bond hecho de bagazo de caña. Este nuevo producto ofrece una buena oportunidad de negocio y ambientalmente correcta para sustituir el papel hecho de celulosa de árboles. Esta opción podría ser otro destino para la materia seca que se genera en la plantación. Futuras investigaciones deberán determinar bajo qué condiciones esta opción de comercialización es económicamente rentable para los azucareros, y políticamente viable para la actividad en su conjunto.

4.2 Opción de mitigación en la fase agroindustrial

En este documento se hace un abordaje indirecto a las acciones de mitigación en la fase de ingenio. Esto por cuanto no se tienen datos públicos en el sector sobre los cuales realizar un análisis más profundo de las opciones. A partir de la literatura disponible, comunicados de prensa y los insumos generados durante el Taller de Expertos (ver anexo 2) se presenta a continuación un panorama de las acciones de mitigación reportadas.

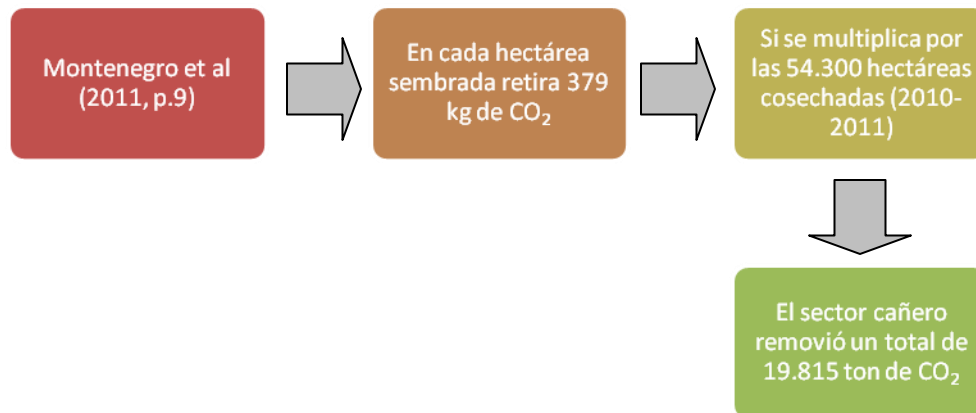
4.2.1 Mitigación + compensación intra agroindustria

Las fincas deben visualizarse de forma más integral, es decir con servicios ambientales adicionales a los generados por la plantación de caña. A este respecto, los árboles plantados como cercas vivas permiten mejorar el ciclo del carbono, porque el CO₂ se está fijando tanto en la planta de caña como en árboles en la finca, es decir: el servicio ambiental está siendo generado (ver figura 4).

Figura 4
Servicios ambientales en caña de azúcar

Planta tipo C_4 , que posee características particulares que permiten la fijación de una importante cantidad de CO_2 .

Permite tener una gran cantidad de CO_2 durante el ciclo productivo, tanto en la biomasa aérea, la raíz, como por supuesto en la sacarosa.



Fuente: Elaboración propia.

Los finqueros cañeros y los dueños de ingenios están interesados en mantener dentro de su esquema de producción dichos servicios ambientales (Taller de Expertos, ver anexo 2). La fijación de CO_2 en las plantas de caña y los árboles en cercas vivas, así como la protección del recurso hídrico y los otros árboles plantados en las fincas están generando servicios ambientales. Sin embargo, más estudios son necesarios para cuantificar dichos servicios ambientales y de esta forma avanzar en su reconocimiento monetario. El Ingenio El Palmar había realizado mediciones en años anteriores, pero por la falta de estímulos abandonaron este trabajo.

Futuras investigaciones deberán retomar estas experiencias para avanzar hacia el establecimiento de un Pago por Servicios Ambientales. Este PSA-SAF Caña se convertirá en una acción de compensación intra actividad azucarera, que permitiría que se realice un pago por los servicios ambientales generados por las plantas de caña por parte de los ingenios. Cuyas emisiones estarían siendo compensadas y de esta forma avanzarían hacia la carbono neutralidad fijada por Costa Rica para el 2021.

4.2.2 Eficiencia energética en los ingenios azucareros

Los ingenios azucareros que utilizan caña de azúcar como materia prima, generan como subproducto el bagazo biomásico. El cual es la materia fibrosa remanente una vez que se ha extraído el jugo de la caña. Este bagazo siempre ha sido utilizado como combustible para alimentar las calderas que proveen vapor para las necesidades de la planta (Rodríguez et al, 2005)³⁶.

La utilización final del vapor se realiza en los equipos evaporadores que concentran el jugo de la caña de azúcar, incrementando su viscosidad hasta que finalmente se convierte en azúcar. Sin embargo, es práctica común de los ingenios generar vapor a una presión más alta de la necesaria para los procesos de evaporación y utilizar este vapor de más alta presión para mover accionamientos de turbinas correspondientes a los molinos de caña y a grupos turbogeneradores, obteniendo así energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la fábrica y otras áreas del ingenio.

La producción de energía es uno de los principales productos derivados del funcionamiento de un ingenio azucarero. Donde el bagazo es quemado en calderas, que a su vez generan vapor y energía³⁷. Por lo que, en los ingenios existe el potencial de alcanzar una eficiencia energética que permita tanto suplir todas las necesidades del ingenio; como cogenerar electricidad cuyos excedentes pueden ser vendidos al mercado eléctrico nacional³⁸.

En un ingenio azucarero, la eficiencia energética requiere de una optimización del proceso industrial de la caña. A este respecto, la generación de energía debe ser más eficiente. Meta que es factible de alcanzar aplicando diversas estrategias técnicas (Meza, 2009). En primer lugar, el monitoreo de los parámetros de alta: presión y temperatura. Lo que requiere disponer de calderas de alta eficiencia.

En Costa Rica, los 13 ingenios activos comparten la estrategia de ser autosuficientes en términos energéticos y esto se consigue en una gran parte mediante el bagazo, y en algunos casos se utiliza leña –que se produce en la misma finca- (Taller de Expertos, ver anexo 2).

³⁶ La cantidad de bagazo disponible depende de la variedad del porcentaje de fibra que tenga la planta de caña (entre 12-18%). Estas diferencias son muy significativas al momento de calcular el balance energético del ingenio y que se origina en la fase agrícola del cultivo (Taller de Expertos, ver anexo 2).

³⁷ La cogeneración de energía eléctrica en un ingenio azucarero implica los siguientes aspectos. Primero, el uso como tecnología de la combustión directa de biomasa (bagazo de la caña), que alimenta las calderas. Segundo, la producción de vapor de alta presión que surge como resultado de dicha combustión. Este vapor es conducido hacia los turbogeneradores para generar energía eléctrica, que en parte se consume para el proceso de obtención del azúcar, y cuyo excedente se distribuye mediante la red nacional.

³⁸ La producción de energía a partir de los residuos biomásicos de la producción azucarera ofrecen la oportunidad de disminuir el consumo de energía térmica obtenida a partir de combustibles fósiles importados. Lo que a su vez se hace más estratégico durante la estación seca, cuando se limita la producción de energía hidroeléctrica y la energía térmica resulta ser insuficiente, por lo que la producción más limpia reporta el potencial de contribuir a solventar dicha insuficiencia.

Esto constituye una compensación intra actividad azucarera, que no ve aparte la agricultura de la industria: sino que más bien es una verdadera agroindustria ya que las actividades se complementan y sus respectivas emisiones se compensan.

En este sentido, la compensación debe integrar la cogeneración: entendida no sólo como conexión a la red eléctrica nacional sino para el autoconsumo que es básico³⁹. Por ejemplo, el Ingenio El Viejo ha implementado prácticas muy eficientes en el uso de energía y hasta vende sus excedentes a la red nacional, pero con muy poco estímulo porque el precio de la electricidad es muy bajo. De los 13 ingenios, 6 u 8 pueden cogenerar, para vender electricidad en una época del año que evita la contaminación provocada por las plantas térmicas del ICE.

Segundo, el reemplazo de turbinas de vapor pequeñas por motores eléctricos con convertidor de frecuencia. Mismos que, incrementan la eficiencia global de la planta. Tercero, establecer un modelo de gestión en el cual la eficiencia es el objetivo común en todo el ingenio. Para lo que, debería evaluarse el uso de distintos materiales vegetales adicionales al bagazo, como la paja y la punta de la caña, que serían procesados en equipos de alto desempeño.

Como resultado de lo anterior, cada ingenio azucarero costarricense debería contar con una evaluación técnica tanto de la gasificación de la paja de la caña como del bagazo. Información que resulta ser un importante insumo para la transición hacia un ciclo industrial combinado. Mismo que permitiría cogenerar electricidad procedente de una fuente más limpia, que en el caso del ingenio El Viejo representa la mitigación de cerca de un 75% de las emisiones de GEI reportadas por su inventario.

La cogeneración permitiría hacer un aprovechamiento muy favorable para mejorar la condición financiera de los ingenios y que esto venga condicionado a mejoras en el campo ambiental (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2). La experiencia del ingenio El Viejo es muy valiosa en términos de compensación de emisiones, y la política pública debe crear incentivos para que los productores realicen los cambios de tal forma que éstos no se conviertan en nuevos costos para la producción.

El recuadro 7 presenta la experiencia de Brasil en términos de cogeneración de electricidad. Este proceso se ha caracterizado por la búsqueda tanto de la eficiencia energética, como de la transformación industrial. Todo asociado al establecimiento de una planta de cogeneración eléctrica.

³⁹ El sector azucarero está en capacidad de generar 27 megas de electricidad (Taller de Expertos, ver anexo 2).

Recuadro 7 **La experiencia brasileña**

En Brasil, los ingenios azucareros han venido trabajando enfocados en alcanzar una alta eficiencia de los equipos utilizados, desde la caldera hasta la turbina de vapor. Esto lo han logrado mediante la incorporación de nuevos equipos que incluyen las siguientes características: (1) parámetros de vapor por encima de 85 bar / 500 °C, (2) turbinas de vapor con alabes de reacción y (3) producción de energía durante todo el año (o en la mayor parte del mismo).

Esta transformación industrial se asocia con el establecimiento de una planta de cogeneración eléctrica. Misma que se alimentaría del combustible procedente de biomasa, que puede ser de dos tipos: (1) bagazo o (2) bagazo combinado con paja de la caña. De igual forma, la operación de dicha planta debe reducir los consumos internos de vapor en todo el ingenio; e implementar la electrificación de los accionadores: que tradicionalmente son del tipo mecánico con pequeñas turbinas de vapor. Una vez que se genera la electricidad se restablece una adecuada conexión a la red de distribución. Finalmente, cada ingenio establece su tiempo de operación, que puede ser únicamente durante la zafra o después de la misma.

Fuente: Meza, (2009).

5. Conclusiones

Tal como se ha mostrado en las secciones anteriores, el sector de la caña de azúcar costarricense tiene el importante potencial de contribuir a la mitigación de las emisiones de óxido nitroso que se genera en las plantaciones. Ello crea condiciones para el establecimiento de un NAMA Caña de Azúcar, entendido como el conjunto de acciones voluntarias de mitigación de GEI del sector productivo, y que son apropiadas para el contexto costarricense.

Los escenarios de mitigación analizados, en relación con la reducción de fertilizantes nitrogenados muestran potencial de evitar emisiones en porcentajes que van desde el 5% al 25%. Asimismo estas opciones tienen viabilidad financiera, en la medida de que el VAN es positivo. Sin embargo, la implementación de estas medidas requiere de un componente importante de creación de condiciones para que el productor tome la decisión en el sentido deseado. Esto significa enfrentar una serie de barreras, mismas que se detallan en el Cuadro 15.

Dichas barreras resultan ser de tipo financiero, social/institucional y tecnológico (validado en el Taller de Expertos, ver anexo 2). Tal como muestra el Cuadro 15, en términos financieros, los productores de caña podrían enfrentarse tanto a la falta de activos y ahorros, como al poco acceso al crédito: lo que les impediría la inversión con fondos propios de los

cambios propuestos para sus fincas, aunque la modificación propuesta en el uso de fertilizantes resulte económicamente favorable.

Adicionalmente, las barreras de tipo social/institucional se refieren tanto a la falta de conocimiento técnico enfocado a la implementación de medidas de mitigación y compensación de GEI en las plantaciones; la incertidumbre ligada al reconocimiento por parte de los mercados (vía incremento de precios o acceso a comercialización) al azúcar que mitiga y compensa sus emisiones GEI. Por su parte, las barreras tecnológicas se asocian a la falta de datos de línea de base, que a su vez genera impactos negativos sobre los cálculos de emisiones (por ejemplo: factores de emisión (MINAET, 2009), que requieren mayor validación en el campo).

Cuadro 15
Barreras de adopción a las acciones de mitigación y compensación de emisiones GEI
propuestas para el NAMA Caña de Azúcar

Tipo de barrera	Retos implementar el mejoramiento del ciclo de carbono	Actor impactado	Ámbito de acción
Financieras	1. Falta de activos y ahorros	Productores de caña	Financiamiento
	2. Poco acceso al crédito		
Social/ institucional	1. Falta de conocimiento técnico para implementar de medidas de mitigación y compensación de GEI en plantaciones.	Productores e industriales de caña	Investigación y asistencia técnica
	2. Incertidumbre frente al reconocimiento del mercado al azúcar, que mitiga y compensa emisiones GEI.		Incentivos.
Tecnológicas	1. Falta de datos de línea de base.2. Incertidumbre sobre efectividad en la producción del cambio en los fertilizantes.		Investigación.

Fuente: Elaboración propia con información validada en el Taller de Expertos (ver anexo 2).

6. Recomendaciones

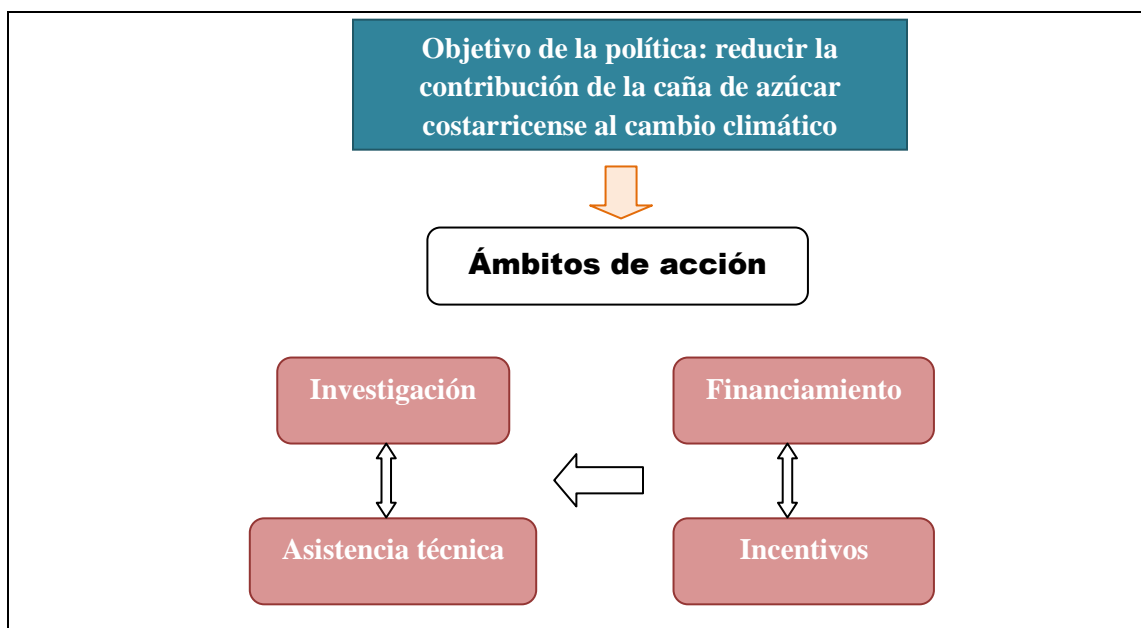
Los resultados del presente estudio, que logran profundizar más en la fase agrícola de la actividad cañera permiten plantear que la implementación de acciones de mitigación asociadas al NAMA en la actividad cañera debe tener un énfasis en la creación de condiciones para el cambio. El análisis de escenarios de mitigación mostró que las acciones requeridas para el cambio van por acompañamiento a los productores para la racionalización del uso de fertilizantes (escenario 1) y la provisión de información técnica validada para el uso de fertilizantes de liberación y uso controlado del nitrógeno (escenarios 2 y 3). El costo del cambio en términos financieros no es de gran impacto sin considerar la posibilidad de mejora en la productividad.

La creación de condiciones para el cambio, refiere al desarrollo de acciones que permitan trabajar en el cambio de prácticas agrícolas, en la investigación que permita reducir la incertidumbre (¿menos uso de nitrógeno más productividad?), transferencia tecnológica, y el desarrollo de incentivos.

Algunos lineamientos para la formulación del NAMA Caña de Azúcar

En consonancia con los resultados del estudio, y lo planteado anteriormente la propuesta del NAMA tiene como objetivo: reducir la contribución de la caña de azúcar costarricense al cambio climático. Para lo cual se proponen 4 ámbitos de acción: (1) investigación, (2) asistencia técnica, (3) incentivos (4) financiamiento. Mismos que se muestran en la figura 5, con un orden de causalidad que va de un vínculo muy estrecho entre la investigación y asistencia técnica, los cuáles deben ser reforzados por mecanismos de financiamiento e incentivos.

Figura 5
Política para mitigación y compensación de emisiones GEI en caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 16 muestra los elementos concretos obtenidos en el estudio, y que dan contenido al ámbito de acciones propuestas para la construcción del NAMA Caña de Azúcar. Las siguientes secciones desarrollan los elementos que constituyen cada acción propuesta en las fases agrícola y agroindustrial, considerando la mitigación y la mitigación más compensación intra-agroindustria respectivamente.

Cuadro 16. Resumen de acciones propuestas para el NAMA Caña de Azúcar

Ámbitos de Acción	Fase agrícola	Fase agroindustrial	
	Mitigación	Mitigación	Compensación intra agroindustria
1. Investigación	1.1 Revalorar los factores de emisión existentes. 1.2 Reducción de emisiones de óxido nitroso por: (1) abonos orgánicos y (2) menos fertilizante en plantaciones. 1.3 Efectos en productividad derivados de los puntos anteriores. 1.5 Cuantificar servicios ambientales generados.		
2. Asistencia técnica	Acompañamiento para mejorar ciclo de carbono: fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno y componentes complementarios.	Capacitación (MAG e IMN, DIECA-LAICA).	Promoción y capacitación a productores de caña y propietarios de ingenios.
3. Financiamiento	Identificar recursos.	Inversión para mejorar eficiencia energética en ingenios azucareros.	Desarrollar justificación técnica para apoyar sistemas de incentivos financieros.
4. Mecanismos de mercado	4.1 Creación de alianzas público/privadas. 4.2 Esquemas de etiquetas y certificación. 4.3 Programa de Plantaciones de Aprovechamiento Forestal (PPAF).		

Fuente: Elaboración propia.

Investigación

Dada la existencia de barreras de adopción a las acciones propuesta en este estudio, y que formarían parte del NAMA Caña de Azúcar, la investigación debe orientarse a realizar nuevas pruebas en campo en plantaciones e ingenios que permitan revalorar los factores de emisión existentes en Costa Rica (MINAET, 2009). Dichas cifras corresponden a valores fijos, que se generaron bajo ciertos supuestos que no necesariamente se ajustan a las dinámicas agrícolas de todas las regiones, ni tampoco representa en el mejor de los casos la realidad del país (validado en Taller de Expertos, ver anexos).

El factor de emisión otorgado para óxido nitroso en caña de azúcar (MINAET, 2009) debe ser investigado en función de la cantidad de nitrógeno aplicado en el campo. Es decir, se requiere determinar cómo varía dicho factor en presencia de mayor o menor cantidad de nitrógeno aplicado. Este factor (5,66) ha venido funcionando como una constante en los cálculos de emisiones de GEI asociados a caña de azúcar; y no refleja la realidad de lo que acontece en el campo.

Las investigaciones en este tema deberán considerar tanto la cantidad y tipo de fertilizante aplicado, como el orden de suelo. Otros factores determinantes incluyen el contenido de humedad, la textura del suelo, y la variedad de caña plantada –son numerosas y cada día surgen nuevas-.

En Costa Rica, la validación en el campo de la eficiencia de los nuevos fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno es una tarea pendiente. La investigación de campo permitirá disponer de una medición del impacto real de estos nuevos productos en términos de aumentar productividad mientras se reduce y/o mantiene la cantidad aplicada sobre los cultivos. Es urgente remediar la inexistencia de laboratorios para medir emisiones de óxido nitroso en nuestro país.

El espacio para la investigación es bastante amplio dadas las complejidades de la fertilización nitrogenada aplicada en las plantaciones de caña de azúcar. Por lo que, el cálculo derivado de multiplicar un número de hectáreas por un factor de emisión se torna muy grueso, y preocupa el hecho de que se esté utilizando para crear políticas públicas sin contar con las estimaciones precisas (basadas en la investigación en campo que permita determinar de manera más precisa las emisiones de óxido nitroso asociadas a la caña de azúcar). Lo que implica, el riesgo de elaborar instrumentos de política que afecten negativamente a los productos sin contar con certeza en la cantidad de emisiones que efectivamente se están generando en el campo. Existe una debilidad importante asociada a la existencia y disponibilidad de información precisa sobre los niveles de fertilización nitrogenada efectivamente aplicados en el campo, que a su vez van a afectar los factores de

emisión de óxido nítrico que deberían estar relacionados a las variaciones en dicha fertilización⁴⁰.

Otra línea de investigación sugiere realizar estudios que midan las reducciones de emisiones de óxido nítrico que se genera como resultado de la aplicación de abonos orgánicos en las plantaciones de caña de azúcar. En general, es necesario investigar la reducción de emisiones al aplicar menos cantidad de fertilizante y también investigar los posibles efectos negativos en la productividad (Castellanos, comm.pers., 2012). Estos trabajos deberán considerar el análisis químico de la materia orgánica del fertilizante aplicado.

Por otro lado, futuras investigaciones deberán cuantificar con mayor detalle los servicios ambientales generados en las plantaciones de caña. De tal forma que, las experiencias mencionadas en este estudio se retomem para avanzar hacia el establecimiento de un PSA-SAF Caña, que requiere ser instrumentalizado para convertirse en una acción de compensación intra actividad azucarera, que permitiría que se realice un pago por los servicios ambientales generados por las plantas de caña por parte de los ingenios. Cuyas emisiones estarían siendo compensadas y de esta forma avanzarían hacia la carbono neutralidad fijada por Costa Rica para el 2021.

Tomando en consideración lo antes expuesto, se sugiere fomentar la investigación que se requiere para afinar los datos asociados a la estimación de las emisiones de GEI en caña de azúcar. Existe la necesidad de que se fortalezcan los programas de investigación oficiales (por ejemplo del MAG y el IMN, en coordinación con DIECA-LAICA) sobre metodologías y criterios oficiales para obtener resultados confiables, cuya validación esté respaldada en estudios efectuados en las plantaciones cañeras ubicadas en cada una de las regiones de nuestro país. La meta país sería crear un programa oficial adaptado a cada actividad agropecuaria, incluida la caña de azúcar, que a su vez cuente con protocolos fijos cuyo seguimiento en el ámbito nacional permitiría obtener resultados sólidos para la toma de decisiones de los distintos actores públicos y privados (Chaves, comm. pers. 2012).

Asistencia técnica

LAICA ha venido implementando diversas acciones de investigación y acompañamiento para los productores azucareros. Los avances en mejoramiento genético, control biológico y productividad son notorios (Taller de Expertos, ver anexo 2). Este potencial debe fomentarse por medio de nueva inversión enfocada al tema de carbono neutralidad al 2021,

⁴⁰ Una sobrestimación de las emisiones de óxido nítrico ligado a caña de azúcar es bastante probable; debido al uso del factor de emisión (5,66) que es fijo y por tanto no refleja las diferencias de aplicación de fertilizantes nitrogenados en las plantaciones cañeras costarricenses (validado en el Taller de Expertos, ver anexos).

es decir a financiar nueva investigación (tal como se planteó en la sección anterior) y acompañamiento para la implementación de las opciones de mitigación expuestas en las secciones anteriores.

La toma de decisiones por parte de los productores azucareros deberá ser acompañada tanto por LAICA como por el MAG y el MINAET. En el tanto, debe fomentarse las alianzas estratégicas entre los actores públicos y privados para mejorar las emisiones asociadas a la caña de azúcar. A este respecto, la construcción de confianza entre dichos actores es de vital importancia (Taller de Expertos, ver anexo 2).

El trabajo conjunto deberá enfocarse a desarrollar la justificación técnica para apoyar los sistemas de incentivos para implementar cambios en los procesos productivos. La actual coyuntura dificulta el establecimiento de incentivos fiscales, sin embargo existe experiencias de trabajo entre un sector productivo nacional y el MINAET. En un caso, ambos actores trabajaron de forma conjunta para obtener un reconocimiento -que diferenció dicho sector-. Mientras en otra experiencia, el MINAET utilizando fondos de la cooperación internacional brindó acompañamiento técnico como un incentivo para otro sector productivo. Como resultado del proceso, el sector invirtió poco dinero en producción más limpia y sí consiguió ahorros importantes –varios millones de dólares- en su sistema productivo. El MINAET requiere del sector productivo para que suministre información sobre qué es lo que se requiere y de esta forma formular política pública más ajustada a responder dichas necesidades. Incentivos no se tienen, pero sí puede crearse en el tanto se justifique adecuadamente su conveniencia (Taller de Expertos, ver anexo 2).

De igual forma, la creación de un esquema de PSA-SAF Caña implica además un acercamiento entre el sector azucarero y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) para potenciar los impactos positivos de los procesos de creación de capacidades en los azucareros, y su adecuada articulación con los resultados de los ámbitos de investigación e incentivos que se presentan a continuación.

Financiamiento

En el tema de mitigación, el financiamiento está orientado a potenciar la capacidad que el sector cañero ha venido desarrollando a lo largo del tiempo. LAICA cuenta con amplia experiencia en investigación y creación de capacidades, que ha permitido que los productores tengan acceso a capacitaciones y acompañamiento tanto en finca como en la fase industrial. Ante esta situación, el tema de financiamiento no se orienta hacia el establecimiento de un crédito específico para los cañeros sino más bien al diseño e implementación de un instrumento de mercado enfocado en el reconocimiento por parte de los consumidores de las acciones de mitigación ejecutadas por el sector. Esto para potenciar aún más la capacidad de mitigación de GEI de la caña de azúcar.

El instrumento de mercado propuesto consiste en una certificación de la mitigación de GEI en la fase de *cultivo* de la caña de azúcar. Misma que permitiría reconocer monetariamente el mejoramiento del ciclo de carbono que se conseguiría a través tanto de la aplicación de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno como de componentes complementarios (i.e. utilizar la broza de café como abono en la plantación de caña). Es importante hacer notar que, en la actualidad Costa Rica no dispone de una certificación de los procesos en finca por lo que una certificación de la mitigación de GEI en la fase de *cultivo* de la caña de azúcar representa un importante avance en los esfuerzos hacia la carbono neutralidad para el 2021⁴¹.

Esta certificación de los procesos ejecutados en las plantaciones de caña de azúcar requiere destinar fondos para investigación en campo. Tal como se mencionó en las secciones anteriores, esta investigación aplicada permitiría comprobar cuantitativamente el aporte de fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno tanto en términos del aumento de productividad como de reducción de emisiones de GEI. Información indispensable para apoyar los procesos de acreditación del instrumento de mercado.

La nueva certificación del proceso de *cultivo* de la caña de azúcar potenciaría aún más las certificaciones con que cuenta LAICA. Dichas certificaciones se relacionan con la gestión en términos de calidad e inocuidad del azúcar costarricense⁴², y han implicado mantener procesos de capacitación continua, entrenamiento y concienciación sobre el tema de la calidad y de la inocuidad entre los actores relevantes del sector cañero. Por lo que, certificar el proceso de *cultivo* de caña de azúcar como carbono neutral representaría una contribución importante a los esfuerzos que el sector ha implementado de manera muy proactiva y adelantándose a los requerimientos de sus compradores⁴³.

De esta forma, las metas de reducción de emisiones de GEI podrían lograrse con una acción más integral por medio de la nueva certificación del proceso de *cultivo* de la caña de azúcar. Instrumento de mercado que permitiría destinar fondos para investigación en campo, y una vez generados los resultados destinar recursos para propiciar que los cañeros adopten las nuevas tecnologías asociadas a fertilizantes de liberación controlada de nitrógeno y componentes complementarios.

41 En este punto es importante mencionar que el Ingenio El Viejo cuenta con una certificación de carbono neutralidad, que aunque no se reconoce como oficial, se concentró en el proceso industrial de producción de azúcar y constituye un esfuerzo del sector cañero para implementar procesos que reduzcan emisiones de GEI..

42 Por ejemplo, la norma ISO/IEC 17025 (acreditaciones de los Laboratorios Central y el de la Terminal Portuaria de Punta Morales), el ISO 22000 (que certificó el Sistema de Gestión de Inocuidad de los Alimentos), PAS 220 (Publicly Available Specification) y la Certificación FSSC 22000 (Food Safety System Certification). Tomado de <http://www.laica.co.cr/laicaWeb/> (consultado el 14 de octubre del 2012).

43 De acuerdo con <http://www.laica.co.cr/laicaWeb/> (consultado el 14 de octubre del 2012).

Mecanismos de mercado

Tomando en cuenta nueva certificación del proceso de *cultivo* de la caña de azúcar, la propuesta apunta también hacia la creación de alianzas público/privadas. La creación de alianzas público/privadas permitirá una adecuada implementación de la Norma Nacional de Carbono Neutralidad, INTE-12-01-06:2011, que constituye el único proceso oficial para alcanzar la carbono neutralidad en la gestión de empresas y organizaciones en Costa Rica (Alpizar, 2012). Dado el carácter voluntario de dicha Norma, las empresas que trabajen para obtener una certificación de carbono neutralidad deberán implementar medidas de mitigación y/o compensación de sus emisiones GEI estarán contribuyendo a fortalecer el Programa País, que consiste en la iniciativa gubernamental para la oficialización de los procesos relacionados con el reporte de inventarios de GEI y aplicación de la norma nacional de Carbono Neutralidad (Flores, 2012). Por lo que, la meta de Carbono Neutralidad fijada por Costa Rica para el 2021 requiere necesariamente de potenciar la creación de alianzas público/privadas.

En el tanto los mercados de carbono se mantengan voluntarios, los productores e industriales de la caña deberán conocer las disposiciones enunciadas por el Acuerdo -36-2012 – MINAET (del 21 de mayo del 2012). Instrumento que indica que: “la única norma reconocida por el Gobierno de Costa Rica para demostrar carbono neutralidad es la INTE 12-01-06 “Sistema de gestión para demostrar la carbono neutralidad”⁴⁴. Razón por la cual, los procesos de certificación en el sector azucarero deberán alinearse con esta disposición. De tal manera que, los esfuerzos de mitigación y compensación de emisiones asociadas a la caña de azúcar pueden ingresar al Mercado Local de Carbono, cuando éste sea debidamente formalizado por parte del MINAET y el proceso de compensación se instrumentalice por medio de Unidades Costarricenses de Compensación (UCCs). Cuando cada organización que ha realizado acciones de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, podrá compensar las emisiones que no ha logrado reducir por medio de acciones propias, adquiriendo UCC.

Tal como se mencionó en el apartado de asistencia técnica, la confianza entre los actores públicos y privados deberá fortalecerse para contribuir a la implementación exitosa de un esquema de compensación de emisiones de GEI. Sin embargo, los altos costos de transacción asociados a estos procesos pueden convertirse en barreras para otros azucareros que deseen obtener certificaciones. El eventual reconocimiento de dichas certificaciones como instrumentos de acceso a mercados y/o mejores precios requiere de la articulación de esfuerzos entre el MINAET, los productores y los organismos verificadores acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Esto para construir esquemas donde la

⁴⁴ Artículo 4º. De la certificación de Carbono Neutralidad bajo la norma INTE 12-01-06:2011.

confianza y transparencia en los procesos permitan el intercambio de pagos por medidas de compensación y mitigación de GEI en caña de azúcar.

Adicionalmente, el Programa de Plantaciones de Aprovechamiento Forestal (PPAF) ofrece una nueva oportunidad para las acciones de mitigación de GEI en el sector cañero. Dado que el PPAF incluye los sistemas agroforestales, las plantaciones de caña de azúcar que incorporen el componente forestal son susceptibles de ser incorporadas en esta iniciativa⁴⁵. El Cuadro 16 muestra los detalles de dicho Programa.

La inserción del sector cañero en el PPAF dependerá del acercamiento entre LAICA y el Ministerio Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET). De tal forma que, los productores de caña de azúcar incorporen los criterios que se desarrollen como parte de esta iniciativa. El establecimiento de reglas claras y la construcción de la confianza entre actores públicos y privados tienen el potencial de generar importantes beneficios ambientales, sociales y económicos.

Los beneficios ambientales incluyen:

- Reducción de GEI, a través del secuestro de carbono,
- Aumento de la cobertura Forestal,
- Aumento de la biodiversidad y belleza escénica,
- Mayor oferta de madera, material de construcción más sostenible.

En el ámbito social se prevé el desarrollo de las comunidades locales participantes, a través de la creación de empleo asociado a la industria de aprovechamiento forestal asociado al sistema agroforestal (plantaciones de caña y árboles en este caso).

Mientras, los beneficios económicos consisten en la creación de una fuente alterna de ingresos para agricultores a través de:

- Venta de bonos de CO₂
- Aprovechamiento forestal
- Venta de futuros de madera

⁴⁵ En los anexos se muestran los detalles de dicho Programa (ver cuadro A3).

Bibliografía

- Abarca, S. 2011. *Servicios Ambientales y Mitigación de GEI en fincas ganaderas de cría y engorde. Foro: “Nuevas opciones de producción en la ganadería de carne”*. Pérez Zeledón, 24 de marzo de 2011.
- Abarca, S.; Montenegro, J. *Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. San José, C.R.: Ministerio de Agricultura y Ganadería: Instituto Meteorológico Nacional, 2001.
- Abarca, S; De Melo, E; Cabrera, J. (s.f.). *Presentación Propuesta de PSA en SAF CAFÉ: ampliando prácticas sostenibles como contribución a alternativas de Cambios Globales*.
- Abarca, S; De Melo, E; Cabrera, J. (s.f.). *Propuesta de PSA en SAF CAFÉ: ampliando prácticas sostenibles como contribución a alternativas de Cambios Globales*. Resumen Ejecutivo.
- Abarca, S; De Melo, E; Cabrera, J., 2008. *Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono*. CATIE-FUNCAFOR-COOCAFE-OIKOCREDIT.
- Adamson, M., 2008. *Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica*. Para la Segunda Comunicación Nacional de Emisiones ante la Comisión Marco de Cambio Climático. PNUD, IMN, MINAET, GEF, CIESA.
- Bermúdez, L.; Chaves, M. 2011. *Resultado Agroindustrial de la Zafra 2010-2011*. LAICA. San José, Costa Rica.
- Casasola, F.; Ibrahim, M.; Barrantes, J. 2005. *Serie Cuaderno de Campo: Los Árboles en los Potreros*. The World Bank, GEF, FAO, LEAD, CATIE, CIPAV.
- Castro, R. 2012. *Programa de Plantaciones de Aprovechamiento Forestal*. Presentado el 13 de setiembre del 2012, en el Hotel Aurola Holiday Inn. San José, Costa Rica.
- CEPAL, 2009. *Informe de Factibilidad Económica del Cambio Climático en Centroamérica*. LC/MEX/L.897 6 de marzo de 2009.
- Chaves, M. 1997. *El Nitrógeno y la caña de azúcar*. En: Congreso de ATACORI “Roberto Mayorga C.”, 11, San Carlos Costa Rica, 1997. Memoria. San José, ATACORI, octubre-noviembre. Tomo I p: 39-65.
- Chaves, M. 1999. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p. Disponible en: <http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- Chaves, M. 2007. *Actualidad sobre la Quema de Cañaverales en Costa Rica*. San José, Costa Rica, mayo. Presentación Electrónica en Power Point. 66 Láminas. Presentado ante DIGECA, MINAET.

- Chaves, M. 2010. *Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar*. San José, Costa Rica, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas. Disponible en: <http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/nutricionyfertilizacion>
- Chaves, M. 2011. *Resumen de costos agrícolas para la siembra y manejo de una hectárea de caña de azúcar según actividad, ciclo vegetativo y región productora*. DIECA, LAICA.
- Chaves, M. 2012. *Ámbitos promedio de aplicación de nitrógeno en Costa Rica según región productora de caña de azúcar*. DIECA, LAICA.
- Chi, H., 2011. *Arborización de áreas de pastoreo: contribución de la ganadería al mejoramiento ambiental*. MAG. FITTACORI.
- CORFOGA (s.f.). *Análisis de Censo Ganadero 2000*. Disponible en <http://www.corfoga.org/pdf/proyecto/censo2000.pdf> (consultado 11 de febrero, 2012).
- FAO Salvaguarda el Medio Ambiente Mundial, Adaptación de la agricultura al cambio climático, disponible el 2-01-12 en http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- Glantz, M.H.; Gommers, R.; Ramasamy, S. 2009. *Coping with a changing climate: considerations for adaptation and mitigation in agriculture*. FAO, Environment and Natural Resources Management Series #15.
- Ibrahim, M.; Francisco Casasola, F.; Diego Tobar, D.; Cristóbal Villanueva, C. (2005). *Serie Cuaderno de Campo: Buenas prácticas para la conservación de la biodiversidad en las fincas ganaderas*. The World Bank, GEF, FAO, LEAD, CATIE, CIPAV.
- ICAFFE (2004). *Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- IMN (s.f.). *Factores de Emisión GEI*. MINAET. San José. Costa Rica.
- INCAE, 2010. *Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica: Hacia la Carbono Neutralidad en el 2021*. Proyecto NEEDS National Economic, Environment and Development Study for Climate Change, Borrador final, Febrero 2010.
- INEC, 2010. *Anuario Estadístico 2009*. "Compendio de datos actualizados del país". San José, Costa Rica.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático), 2007. *Cambio Climático 2007*. Base de las ciencias físicas. Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico. Preguntas frecuentes. Contribución del Grupo de Trabajo 1 al Cuarto Informe de Evaluación. OMM-UNEP.
- LAICA, 2012. *Azucarera El Viejo se certifica como el Primer Ingenio Carbono Neutro en Centroamérica*. Conexión abril-junio 2012, pp. 4. Número 5.

- Chacón, P.; Leblanc, H.; Russo R. 2007. *Fijación de carbono en un bosque secundario de la Región Tropical Húmeda de Costa Rica*. Tierra Tropical (2007) 3 (1): 1-11 ISSN: 1659-2751. Universidad EARTH. Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica.
- López, J. 2011. DISAGRO Guatemala.
- López Lara, Gilberto y Juan Bautista Méndez Cruz, 2008. *Manual de recomendaciones para el manejo sostenible de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica.
- MEIC. 2011. *Resultados del primer estudio sobre el efecto de la variación del tipo de cambio del dólar en los precios de los bienes de consumo seleccionados*. Costa Rica.
- Meza, R. 2009. *Experiencia Brasileña en Cogeneración en Ingenios Azucareros*. Seminario sobre Eficiencia Energética, Energías Renovables y MDL Tech4CDM. México.
- MINAET. 2009. *Inventario Nacional de Emisión de Gases con Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005*. MINAET, IMN, GEF. PNUD.
- MINAET. FONAFIFO. 2012. *Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010*. Cooperación Financiera entre Alemania y Costa Rica. Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte. Contrato de Aporte Financiero N° 1999 66 268. San José, Costa Rica.
- Montenegro, J.; Abarca, S., 2001. *Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global*. MAG. MINAE. PNUD. GEF.
- Montenegro, J.; Abarca, S.; Peters, K. 2009. *Evolución de la producción de leche y su relación con la emisión de metano en Costa Rica*. En Horizonte Lechero. Cámara Nacional de Productores de Leche. C.R. Ed. 2 año 1: (julio setiembre).
- Montenegro, J.; Chaves, M., 2009. *Emisión de gases por la caña de azúcar: Propuesta metodológica para realizar un Balance de Carbono*. Presentado en el XVII Congreso Azucarero Nacional ATACORI “Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.” Organizado por la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), celebrado el 2 y 3 de Setiembre del 2009 en el Colegio de Ingenieros Agrónomos. Moravia, San José, Costa Rica.
- Montenegro, J.; Chaves, M., 2011. *Contribución del Sector Cañero a la Mitigación del Cambio Climático*. Presentado en el XVIII Congreso Azucarero Nacional ATACORI “Lic. Teresita Rodríguez Salas (†)” organizado por la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), celebrado el 8 y 9 de Setiembre del 2011 en el Colegio de Ingenieros Agrónomos. Moravia, San José, Costa Rica.
- Ramírez, E.; Dávila, O.; Ibrahim, M.; 2005. *Serie Cuaderno de Campo: El uso de bancos forrajeros para la alimentación de verano*. The World Bank, GEF, FAO, LEAD, CATIE, CIPAV. Revisión de textos Jairo Mora D.

- Rodríguez, R.; Wiesner, I. 2005. *Incremento de beneficios en un ingenio azucarero mediante el mejoramiento del uso del bagazo de caña de azúcar*. UNAM. México.
- Seeberg-Elverfeldt, C. 2011. *Fondos y mecanismos de financiamiento climático para agricultura*. Segundo seminario regional “Agricultura y cambio climático: del diagnóstico a la práctica”. FAO. Chile.
- SEPSA-MAG, 2002. *Boletín Estadístico Agropecuario N° 13*. San José, Costa Rica.
- SEPSA-MAG, 2008a. *Boletín Estadístico Agropecuario N° 18*. San José, Costa Rica.
- SEPSA-MAG, 2008b. *Plan Nacional de Alimentos Costa Rica: oportunidad para la agricultura nacional*. San José, Costa Rica.
- SEPSA-MAG, 2009. *Síntesis Analítica Situación y tendencias del Sector Agropecuario 2004-2008*. San José, Costa Rica.
- SEPSA-MAG, 2011. *Boletín Estadístico Agropecuario N° 21*. San José, Costa Rica.
- Steiner, R. 2006. *Utilización Energética de Residuos Orgánicos en la Industria Bananera, Cafetalera y Azucarera en Costa Rica*. Tesis Posgrado en Ingeniería Ambiental. Fachhochschule Nordwestschweiz. Hochschule für Life Sciences. Institut für Ecopreneurship. En: <http://www.programacyma.com/wp-content/uploads/2006/04/UTILIZACION-ENERGETICA-RESIDUOS-ORGANICOS-EN-COSTA-RICA-VERSION-FINAL-Junio-2006.pdf>
- Solís, H; Jiménez, R; Bermúdez, E., 2011. *Proposal for developing an agricultural NAMA for Costa Rica's coffee sector*.
- Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Casasola, F.; Arguedas, R. (2005). *Serie Cuaderno de Campo: Las cercas vivas en las fincas ganaderas*. The World Bank, GEF, FAO, LEAD, CATIE, CIPAV.

Expertos Entrevistados

Abarca, Sergio. Funcionario del MAG. (Reunión técnica de carne, 6 de marzo del 2012).

Castellanos, Edwin. Universidad del Valle de Guatemala (Reunión técnica, 25 de enero del 2012).

Chaves, Marco. Director DIECA-LAICA (Reuniones técnicas varias y efectuadas durante los meses de abril y mayo del 2012).

Del Barco, Carolina. ABOPAC (comunicación personal 31/05/2012 y 04/06/2012).

Gurdian, Byron. Director de Cuarentena Animal de SENASA-MAG (19 de enero del 2012).

Jiménez, Esteban. Funcionario de la Corporación Ganadera de Costa Rica (CORFOGA). (Reunión técnica de carne, 6 de marzo del 2012).

López Lara, Gilberto. Experto en ganadería de la Oficina Regional del MAG en Hojancha, Guanacaste (2 de febrero del 2012).

Montenegro, Johnny. Funcionario del MAG en convenio con el IMN. (Reunión técnica de carne, 6 de marzo del 2012).

Morales, Jorge. Director del INTA (10 de mayo del 2012).

Navarrete, Gilmar. Coordinador del Área de Servicios Ambientales del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) (28 de febrero del 2012).

Venegas, Gilberto. Director de Operaciones de SENASA-MAG (19 de enero del 2012).

ANEXOS

Anexo 1: Cuadros que muestran el detalle de los cálculos del documento.

Cuadro A1. Costa Rica. Emisión de Óxido Nítrico en Suelos Agrícolas de Caña de Azúcar. Período 2000-2010

Caña de Azúcar										
Zafra	Área Sembrada (ha) ^{1/}	Factor de Emisión kg N ₂ O/ha/año ^{2/}	Emisión de N ₂ O Gg				Emisión de CO _{2e} Gg ^{3/}			
			Base	5%	15%	25%	Base	5%	15%	25%
2011-2012	57.800	5,66	0,33	0,33	0,33	0,33	101,42	101,42	101,42	101,42
2012-2013	58.023	5,66	0,33	0,31	0,28	0,25	101,81	96,72	86,54	76,35
2013-2014	58.294	5,66	0,33	0,31	0,28	0,25	102,28	97,17	86,94	76,71
2014-2015	58.362	5,66	0,33	0,31	0,28	0,25	102,40	97,28	87,04	76,80
2015-2016	58.225	5,66	0,33	0,31	0,28	0,25	102,16	97,05	86,84	76,62
2016-2017	57.887	5,66	0,33	0,31	0,28	0,25	101,57	96,49	86,33	76,18
2017-2018	57.363	5,66	0,32	0,31	0,28	0,24	100,65	95,62	85,55	75,49
2018-2019	56.676	5,66	0,32	0,30	0,27	0,24	99,44	94,47	84,53	74,58
2019-2020	55.856	5,66	0,32	0,30	0,27	0,24	98,00	93,10	83,30	73,50
2020-2021	54.938	5,66	0,31	0,30	0,26	0,23	96,39	91,57	81,93	72,30

^{1/} Información suministrada LAICA 2012. El dato de la cosecha 2011-2012 es estimado. Para años posteriores se realiza una proyección en base a una función trigonométrica.

^{2/} Dato obtenido del Inventario Nacional de Emisiones IMN 2009.

^{3/} Se obtiene al multiplicar el óxido nítrico por 310 (IMN 2009. Factores de Emisión GEI).

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A2.**Caña de azúcar: emisiones evitadas de CO₂e por escenarios de mitigación (en Gg)**

Zafra	Área sembrada (has)	Línea Base: emisión CO ₂ e (Gg)	Escenarios de mitigación: emisión CO ₂ e (Gg)		
			5%	15%	25%
2012-2013	58.023	101,81	5,09	15,27	25,45
2013-2014	58.294	102,28	5,11	15,34	25,57
2014-2015	58.362	102,40	5,12	15,36	25,60
2015-2016	58.225	102,16	5,11	15,32	25,54
2016-2017	57.887	101,57	5,08	15,24	25,39
2017-2018	57.363	100,65	5,03	15,10	25,16
2018-2019	56.676	99,44	4,97	14,92	24,86
2019-2020	55.856	98,00	4,90	14,70	24,50
2020-2021	54.938	96,39	4,82	14,46	24,10
TOTAL		905	45	136	226

Fuente: Elaboración propia con información de LAICA (2012) e IMN (2009).**Cuadro A3****El Programa de Plantaciones de Aprovechamiento Forestal (PPAF)**

Objetivo	Incentivar la creación de plantaciones agroforestales, con fines aprovechables, en las áreas del territorio nacional que no tienen cobertura forestal.
Localización	Porcentaje 47. 6% del territorio nacional que se encuentra desprovisto de bosques.
Participantes	Gobierno, Sector Privado, Instituciones Educativas y Cámaras e instituciones.
Sectores Beneficiados	Forestal, Ganadero, Lechero, Agricultor, Construcción e Industria.
Escala	1era Fase: 50,000 árboles (UPANACIONAL) 2nd Fase: 65, 700 árboles (problemas de uso de suelo) Escalable a 7,213,200 árboles (REDD+).
Priorización	ALTA.
Plazo	15 años a 25 años.

Fuente: Castro, R. (2012).

Anexo 2: Taller expertos: Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: caña de azúcar.

“Apoyo a la preparación de Estrategias de Desarrollo Bajo en Emisiones y Adaptado al Cambio Climático”

Proyecto Regional del PNUD: “Fortalecimiento de Capacidades de los Encargados de la Formulación de Políticas para hacer frente al Cambio Climático en Iberoamérica”

(Número del Proyecto: 00062376)

Taller expertos: Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: caña de azúcar

AGENDA

9:00- 9:15 a.m.	Palabras de bienvenida
9:15-10:00 a.m.	Presentación de resultados preliminares del estudio
10:00-10:15 a.m.	Café
10:15-11:55 a.m.	Sesión dirigida de retroalimentación
12:00 m.d.	Almuerzo

MINUTA DE TALLER EXPERTOS: CAÑA DE AZÚCAR

Fecha: Viernes 08 de junio del 2012.

Lugar: Aula 1, CINPE-UNA.

Temas y acuerdos:

1. Emisiones GEI asociadas a caña de azúcar:

1.1 En términos de CO₂, el **balance** en caña de azúcar es claramente positivo. Haciendo números rápidos, si una quema libera alrededor de 12 ó 26 toneladas de CO₂ en el tanto la planta de caña ha fijado 80-100 toneladas de CO₂ por ha.

1.2 Este es un tema que el sector azucarero debe desmitificar, y este estudio debe incluir un apartado que aporte en aclarar que la quema **no** representa un problema para cambio climático, aún cuando se asocia con otro tipo de problemas (salud humana, contaminación del aire, etc.).

1.3 Marco Chaves: el tema ambiente tiene 3 grandes áreas: captura, emisión y mitigación y este estudio se enfoca en emisiones. Este experto está preparando 4 publicaciones para setiembre, donde se referirá a las diferencias entre regiones y al ámbito de aplicación de los fertilizantes.

1.4 Es importante visualizar la finca de forma más integral que únicamente la plantación de caña. Las cercas vivas y otras técnicas permiten mejorar en términos del ciclo del carbono, porque da lo mismo si el CO₂ se fija en la planta de caña o en árboles en la finca: lo más importante es el servicio ambiental generado.

2. Fertilización:

2.1 Roberto Alfaro (DIECA). En el sector azucarero existe experiencias de utilización de abonos orgánicos, que han permitido reducir los impactos ambientales de la producción. Por ejemplo, en la Región Brunca el uso de la broza del café (residuo del proceso de beneficiado) ha permitido reducir la fertilización química como resultado del uso de abonos orgánicos. El establecido en Cutris (Los Chiles/Zona Norte) se va a utilizar abono orgánico y se está reduciendo la fertilización nitrogenada. Esto podría acompañar los fertilizantes de liberación controlada. Aunque no se cuenta con estudios, el abono orgánico se está aplicando como un complemento al nitrógeno, que además implica fósforo y potasio, por lo que a futuro se sugiere realizar estudios que midan las reducciones de emisiones de óxido nitroso que se genera como resultado de la aplicación de abonos orgánicos en las plantaciones de caña de azúcar (considerando el análisis químico de la materia orgánica del fertilizante aplicado).

2.2 Julio César Barrantes (DIECA, Pérez Zeledón), en la Región Brunca donde existe tanto subproducto del beneficiado del café (broza, ceniza, cachaza) es importante utilizarlo para que aplicado en el campo –en niveles masivos- y se trasciende a recomendación al productor para que lo utilice con toda confianza. Lo que implica una reducción muy significativa en uso de fertilizantes nitrogenados. De hecho en la Región no se utiliza ninguna fuente pura nitrogenada (Nutran, Urea o Sulfato de Amonio), que no se recomienda precisamente por la vinculación que hay con la aplicación de abonos orgánicos al momento de la siembra. Un potencial muy grande existe en la Región dada la existencia de beneficios de café se está avanzando a resolver problemas ambientales: al eliminarse la broza mediante un proceso manejado –no improvisado- el proyecto permite producir alrededor de más de 150 000 sacos de abono orgánico, que se ponen a disposición de los productores en condiciones muy competitivas. Ya que, la producción no se sacrifica sino que bajo sus condiciones de suelo –del orden ultisol y baja fertilidad- se maximiza. El nitrógeno que se aplica es el que va incorporado en la fórmula (máximo 17% y mínimo 10%). Marco Chaves: los abonos orgánicos mejoran la capacidad de intercambio del suelo y de retención de nutrimentos, que se traduce en menos contaminación.

2.3 Gilberto Calderón: en Turrialba algunos productores cosechan en verde, que implica una cantidad de hojarasca que queda en el cañal. Algunos productores practican la remanga, que es separar la hojarasca del surco para que tener una buena “brotación” del retoño. Esto beneficia tanto al retoño como a la plantación que dispone de materia seca –están haciendo un estudio para cuantificar esta cantidad-. Esta práctica podría contribuir a reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado que se aplica a las plantas de caña.

3. Variabilidad:

3.1 Ellen Sancho UNA, Esc. Ciencias Agrarias: es importante considerar la variabilidad, ya que Costa Rica es “increíblemente variable” en las condiciones de suelo: en una misma finca tenemos parcelas que cambian considerablemente, que a su vez varía aun más cuando se consideran las zonas y los cultivos. Para tener trascendencia es necesario hablar de tipologías, situaciones y/o condiciones.

4. Ingenios:

4.1 José Roberto Durán: es importante definir el área que se tendrá para el 2021, en este momento no se puede decir pero la proyección de área que ofrece el estudio es bastante aproximada a las estimaciones del sector. En Guanacaste, los 3 ingenios – que corresponden al área más grande del sector- ya casi alcanzan su “techo” en términos de molienda. Esta situación no cambiaría en el futuro a menos que los

precios aumenten considerablemente. En su opinión, la proyección de áreas efectuada por el estudio está bastante bien. Además, urge tener un dato más ajustado sobre el factor de emisión (5,66), que para efectos de iniciar el estudio está bien pero una estimación mucho más exacto requiere ajustes en dicho factor. El estudio del CINPE-UNA es necesario y en el futuro se requiere más investigación para hacer los ajustes necesarios tanto en términos del factor de emisión, como la eficiencia en campo de las nuevas fuentes nitrogenadas.

4.2 Jesús Vargas: El Viejo, Taboca y CATSA poseen una certificación ISCC, que considera el tema ambiental en términos de mediciones de cantidad de nitrógeno que están aplicando en el suelo, porcentaje de materia orgánica en el suelo. Estos son avances por parte de los ingenios que consumen más nitrógeno en Costa Rica.

4.3 Carlos Cruz: Para el caso de todos los ingenios parte de su estrategia es ser autosuficientes en términos energéticos y esto se consigue en una gran parte mediante el bagazo, y en algunos casos se utiliza leña –que se produce en la misma finca-. Esto constituye una compensación intra actividad azucarera, que no ve aparte la agricultura de la industria: sino que más bien es una verdadera agroindustria ya que las actividades se complementan y sus respectivas emisiones se compensan. En este sentido, la compensación debe integrar la cogeneración: entendida no sólo como conexión a la red eléctrica nacional sino para el autoconsumo que es básico. Por ejemplo, el Ingenio El Viejo ha implementado prácticas muy eficientes en el uso de energía y hasta vende sus excedentes a la red nacional, pero con muy poco estímulo porque el precio de la electricidad es muy bajo. De los 13 ingenios, 6 u 8 pueden cogenerar, para vender electricidad en una época del año que evita la contaminación provocada por las plantas térmicas del ICE. Con respecto a los servicios ambientales existen otros aspectos, a los finqueros cañeros y a los dueños de ingenios les interesa mantener dentro de su esquema de producción dichos servicios ambientales. La fijación de CO₂ en las plantas de caña y los árboles en cercas vivas, así como la protección del recurso hídrico y otras prácticas silvopastoriles están generando servicios ambientales en las fincas. Hacen falta más estudios para cuantificar dichos servicios ambientales y de esta forma luchar por su reconocimiento monetario. El Ingenio El Palmar había realizado mediciones en años anteriores, pero por la falta de estímulos abandonaron este trabajo. Futuras investigaciones podrían retomar estas experiencias para mejorar la cuantificación de la línea base en caña de azúcar para efectos de políticas.

4.4 Marco Chaves: el sector azucarero está en capacidad de generar 27 megas de electricidad.

5. Políticas:

5.1 Carlos Cruz: el bagazo lo produce la industria luego de procesar la caña. La cantidad de bagazo depende de la variedad del porcentaje de fibra que tenga la planta de caña (entre 12-18%). Estas diferencias son muy significativas al momento de calcular el balance energético del ingenio y que se origina en la fase agrícola del cultivo. Este tema debe tomarse en consideración para la formulación de políticas: incentivar variedades con mayor porcentaje de fibra.

5.2 Marco Benavides: en Costa Rica ya se está vendido papel bond hecho de bagazo de caña ofrece una buen oportunidad de negocio y ambientalmente correcta para sustituir el papel hecho de celulosa de árboles. Además, esta opción podría ser otro destino de la materia seca que se genera en la plantación. En términos de aplicación de fertilizantes, los pequeños productores lo aplican sobre el suelo y no lo cubren para prevenir las pérdidas. El otro tema son las máquinas que se utilizan en las plantaciones, y en que algunos casos podría existir una sobre utilización de estos equipos. La investigación futura deberá considerar estos temas.

5.3 Marco Chaves: es necesario pensar en todo lo que vaya en favor del ciclo del carbono –del cual el nitrógeno es parte-. Cualquier medida que vaya a favor de acumular materia orgánica en el suelo y favorecer mineralización va a mejorar la mitigación. Por otro lado, la cogeneración permitiría hacer un aprovechamiento muy favorable para mejorar la condición financiera de los ingenios y que esto venga condicionado a mejoras en el campo ambiental. La experiencia del ingenio El Viejo es muy valiosa en términos de compensación de emisiones, y la política pública debe crear incentivos para que los productores realicen los cambios de tal forma que éstos no se conviertan en nuevos costos para la producción. La forma funcional del estudio (trigonométrica senoidal) es la que presenta el mejor ajuste y por tanto se valida con respecto a la forma lineal y cuadrática que fue diseñada también por el estudio. La función lineal implicaría que para el 2021, la caña de azúcar estaría llenando de emisiones de óxido nitroso nuestro país: lo cual carece de apoyo por parte del sector. Mientras el ajuste del 99% de la función trigonométrica senoidal es excelente, y además implica una caída de las emisiones de óxido nitroso, que se valida por parte del sector.

5.4 Shirley Soto (MINAET): tomando en cuenta lo expresado sobre la necesidad de tener incentivos y ver todo de forma más integral, el MINAET está en lo mismo. Este Ministerio es parte del Poder Ejecutivo y tiene su contraparte en el Ministerio de Hacienda, por lo que en el tema de incentivos














lo que más cuesta es contar con la justificación técnica para justificar los incentivos de varios sectores solicitan. Se trabaja muy aislado de dichos sectores, que a veces pueden tener la información y el MINAET no la conoce. A veces se tienen desconfianza porque el sector cañero los ve como fuente de regulaciones, pero es bien difícil trabajar sin tenerse confianza, cada vez que se sientan a negociar un nuevo reglamento: el sector azucarero es el que no llega y eso es muy complicado ya que se empieza a trabajar sin tener toda la información para saber cómo regular y entonces el día que tienen el decreto relativamente listo es cuando “sí salta todo el mundo” y entonces hay cosas que pueden mejorar si trabajan juntos (MINAET y sector cañero): “hay relaciones que hay que volver a crear”. En la medida en que el Ministerio tenga la información, el Ministerio tiene doble cara: ambiente y energía podrían unirse esfuerzos para justificar incentivos para la adopción de las medidas de mitigación validadas durante el taller. Existe una experiencia de un sector productivo nacional, que se acercó al MINAET solicitando incentivos, pero el Ministerio de Hacienda no permite incentivos fiscales entonces se trabajó en otras opciones como otorgar un reconocimiento para diferenciar un sector de otro, mientras en otra experiencia el MINAET le brindó acompañamiento técnico como un incentivo para otro sector productivo. Esto demuestra que el sector no invirtió mucho dinero en producción más limpia y sí consiguió unos ahorros increíbles –varios millones de dólares- en su sistema productivo. El acompañamiento técnico del MINAET se logró a través de la cooperación internacional Cafta, pero ya todos estos proyectos se terminaron y dependen de sí mismos, ya que necesitamos investigación deben acercarse a las universidades y procurar de dicha investigación se dé en temas que les interesan. El MINAET requiere del sector productivo para que suministre información sobre qué es lo que requieren y de esta forma formular política pública más ajustada a responder dichas necesidades. Incentivos no se tienen pero sí puede crearse en el tanto se justifique adecuadamente su conveniencia.

5.5 En el sector azucarero existen dos niveles; el ingenio grande –con un solo dueño- y el pequeño. El ingenio grande puede tomar decisiones más fácilmente (por ejemplo: Guanacaste) en tanto en otros ingenios existen masas de productores más diversas (por ejemplo: Turrialba, Pérez Zeledón y Grecia). Los análisis deben tomar en cuenta esta diferencia, porque un único dueño puede tomar una decisión estratégica empresarial de manera más sencilla, en tanto los productores de otros ingenios deberán ser convencidos de la conveniencia de implementar cambios en sus procesos productivos.

**Lista de Asistencia
08-06-2012**

Título: "Taller expertos Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: caña de azúcar"

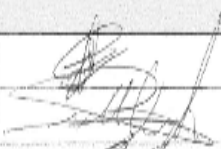



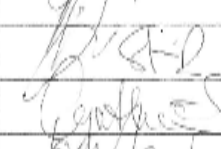


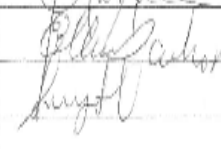
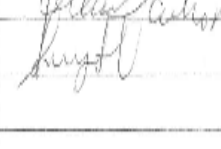
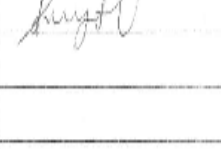
Presenta: Ph.D. Rafael Díaz Porras, MSc. Fiorella Salas Pinel.

NOMBRE	CORREO ELECTRONICO	TELÉFONO	FIRMA
Carlos Francisco Carranza			
Shaly Soto M	SSoto@unival.co.cr	71571839	
Luis E. Rodríguez V.	lrodriguez@unival.co.cr	"	
Marco Cárdenas S.		22896066	
Gilberto Kaldwin A.	gkaldwin@unival.co.cr	89775625	
Carlos Cruz	ccruz@unival.co.cr	75711212	
Carlos Villalobos Méndez	cvillalobos@unival.co.cr	89772868	
José Viquez Amín	jviquez@unival.co.cr	83218790	
Marco A. Benavente M.	mbenavente@unival.co.cr	83533828	
Johann Montenegro	jmontenegro@unival.co.cr	2272-5616	
Juan Pablo Porras	jp@unival.co.cr	88275297	
Diana Angileri	dangileri@unival.co.cr	83616090	
José R. Durán A.	jduran@unival.co.cr	94941129	

**Lista de Asistencia
08-06-2012**

Título: "Taller expertos Escenarios costo-efectividad de medidas de mitigación: caña de azúcar"

Presenta: Ph.D. Rafael Díaz Porras, MSc. Fiorella Salas Pinel.

NOMBRE	CORREO ELECTRONICO	TELÉFONO	FIRMA
Javier Fro Alvar Porras	jfalvar@porras.com jfalvar@taica.co.cr	88223120	
Randell Ocampo	rocampo@taica.co.cr	8340 67 00	
Roberto A. Alfaro P.	ralfar@taica.co.cr	24942955	
Nery Benavides	benavides.n@taica.co.cr	88394143	
Rafael H. Mesa	rmesa@una.ac.cr	2291-4621	
Juli Cesar Barrientos Pinel	jbarrientos@taica.co.cr	2291-3437	
Geovana Jiménez P.	gjime@una.ac.cr		
Cynthia CS	mcres@cinpe.com		
Oliver Sandoz B	osando@una.ac.cr	2277 3096	
Suyen Alonso Libata	suyenalonsa@matricos.com	2561-4325	

Anexo 3: Lista de ingenios azucareros activos y en operación.

Cuadro A3.1 Ingenios azucareros activos y en operación. Costa Rica. 2012.	
Zona Pacífico	Costa Rica
	Porvenir
	Providencia
	Coope Victoria
Zona Guanacaste y Puntarenas	Ingenio Taboga
	CATSA
	Azucarera El Viejo
	Azucarera El Palmar
Zona San Carlos	Cutris
	Quebrada Azul
Zona Turrialba	Atirro
	Juan Viñas
Zona Sur	El General
Fuente: Elaboración propia con información suministrada por Chaves, (2012).	

